# Kapitel 5

# Einführung in die Kognitionswissenschaften

# 5 Einleitung

Die kognitive Psychologie will die grundlegenden Mechanismen des menschlichen Denkens begreifen. Ihr Ziel ist es, das Wesen der menschlichen Intelligenz und ihre Funktionsweise zu erfassen. Das Wort Kognition leitet sich aus dem lateinischen ‚cognitio': Erkennen, die Erkenntnis, ab und ist kennzeichnend für das Bestreben der Wissenschaft nach Erkenntniszuwachs. Es ist wichtig, die Zusammenhänge des Wissenserwerbs, der Wissensverarbeitung, der Speicherung und Reproduktion (Wiedergabe) des Wissens zu verstehen, um daraus Rückschlüsse für andere wissenschaftliche Disziplinen zu ziehen. Genannt seien hier die Sozialpsychologie, die untersucht, wie der Mensch sich gegenüber einzelnen oder in Gruppen verhält, die Politikwissenschaft, die untersucht wie Prozesse des Überredens und Überzeugens ablaufen oder die Wirtschaftswissenschaften, die erforschen, wie ökonomische Entscheidungen getroffen werden.
Wichtige Erkenntnisse der kognitiven Psychologie und Linguistik, z. B. Charakterristika, Struktur, Regeln, Verarbeitung und das Verstehen der natürlichen Sprache, sind Grundvoraussetzungen gewesen für die maschinelle Sprachverarbeitung. Auf dem Gebiet der künstlichen Intelligenz gibt es verschiedene Ansätze, die auf kognitionswissenschaftliche Modelle zurückzuführen sind. Die Erkenntnisse der propositionalen und bedeutungsbezogenen Wissensrepräsentation und Verarbeitung (eng verbunden mit den Begriffen Proposition[1], Schema, Skript[2]) führten zur Theorie der Semantischen Netze und zur Modellierung von Framestrukturen (nach Marvin Minski). In Deduktionssystemen und Produktionsregelsystemen sowie allgemein bei der Simulation von Problemlösevorgängen werden kognitionspsychologische Erkenntnisse des logischen Denkens und der Entscheidungsfindung angewendet.
Die begrenzten Fähigkeiten des Menschen, kognitive Anforderungen zu bewältigen, beschäftigen in immer stärkerem Maße die moderne Informationsverarbeitung. Waren es früher meist Rechenaufgaben, die den Schwerpunkt von Computeranwendungen bildeten, so sind es heute in überwiegendem Maße Textverarbeitung, Datenbankanwendungen, Multimedia, Kommunikation und Betriebsführung. Durch ständig schnellere technologische Entwicklungszyklen und die „explosionsartig" ansteigende Menge an Informationen, die erzeugt, verarbeitet und gespeichert werden, sind wir gezwungen, neuartige Mechanismen und Technologien zu entwickeln und zu nutzen, die besser an die kognitiven Prozesse des Menschen angepaßt sind. Der gewaltige Technologieschub in den letzten zehn Jahren brachte eine Verschmelzung von Informationstechnologie, Unterhaltungselektronik und Telekommunikation. Multimediale Anwendungen halten Einzug in fast alle Bereiche unseres Lebens. Diese Entwicklung geht rasant weiter und die immensen Auswirkungen auf die nächste Dekade lassen sich nur schwer erahnen.
Es ist inzwischen unbestritten, daß das Verständnis der Wissensaquivision und der Wissensverarbeitung des Menschen im Zusammenspiel mit der Informationsverarbeitung einen immer größeren Stellenwert einnimmt und dies gerade im Hinblick darauf, weil die Weiterentwicklung von Programmier– und Softwaretechniken alleine nicht ausreicht, um den kommenden Anforderungen einer modernen Informationsgesellschaft gerecht zu werden. Vielmehr muß eine noch stärkere Verlagerung des Schwerpunktes zukünftiger Wissensrepräsentationen via Computer in Richtung der Gestaltung einer ergonomischen Mensch-Maschine-Kommunikation stattfinden, d.h. einer an menschliche Bedürfnisse und Fähigkeiten angepaßten Gestaltung der Informationstechnik, stets mit dem Ziel, den Menschen bei seinen intellektuellen Vorhaben zu befähigen, effektiver zu arbeiten. Nicht zuletzt hängt die Akzeptanz dieser neuen und immer breiter angewendeten technischen Systeme beim End-Benutzer entscheidend davon ab, wie schnell dieser versteht, wie sicher man mit diesen neuen Inforamtionsmedien umgehen kann und wie intensiv er diese Systeme einsetzen kann.

Um die menschliche Kognition zu erklären, werden immer öfter neuronale Vorgänge und Mechanismen des Gehirns berücksichtigt. Zum Verständnis neuronaler Modelle bedarf es aber einiger grundlegender Kenntnisse über die wichtigsten Funktionen des Nervensystems, weshalb wir im Folgenden zu Beginn dieses Buches die wichtigsten für uns relevanten Grundlagen des Nervensystems besprechen wollen.

[1] **Proposition: kleinste Wissenseinheit die eine selbständige Aussage bilden kann**
[2] **Schema, Skript: Organisationsmodelle der bedeutungsbezogenen Wissensrepräsentation**

# 6 Das menschliche Nervensystem

Das menschliche Nervensystem setzt sich aus kleinsten, autonom agierenden Bestandteilen, den sog. **Neuronen** zusammen, die sich im Laufe der Evolution zu immer komplexer Aktionseinheiten zusammengefunden haben. Wir müssen uns aber von Anfang an darüber im klaren sein, daß mit einer fortschreitenden „Runterbrechung" des Nervensystems auf diese Bestandteile auch die komplexen, schließlich Bewußtsein erzeugenden, Fähigkeiten dieser Nervenverbünde sehr schnell verloren gehen und die Struktur und das Agieren der einzelnen Neuronen „nur" das Rohmaterial einer jeglichen geistigen Aktivität bilden. Nichtdestotrotz definiert aber das Spektrum des Agierens der Neuronen die fundamentalsten Fähigkeiten jeglichen kognitiven Handelns, weshalb wir uns als erstes die Grundbausteinen aller Nervensysteme zuwenden wollen.

## 6.1 Über den Aufbau und die Funktionsweise der Neuron

Wie gesagt, besteht das Nervengewebe an sich aus den eigentlichen Neuronen, jedoch werden diese von den sog. **Gliazellen** gestützt und ernährt, weshalb man sie auch Stützzellen nennt und sie zum Nervensystem dazuzählt. Der Prototyp der Neuronen besteht aus einem **Zellkörper** (***Perikaryon***, oder ***Soma***) mit **Zellkern** dem (***Nucleus***) und einem langen Hauptfortsatz, dem **Axon** (oder ***Neurit***). Das Axon kann einige Millimeter und bis zu einem Meter lang werden und man unterscheidet desweiteren zwischen Neuronenarten mit einem, zwei oder mehreren Hauptfortsätzen. Vom Zellkörper selber gehen desweiteren viele kurze Fortsätze aus, die **Dendriten** genannt werden und an denen andere Neuronen mit ihrem Axon „ankoppeln" können. Die Dendriten vergrößern dabei die Oberfläche des Neuron und bilden zusammen mit dem Soma den Ort des **Erregungsempfangs** eines Neurons. Damit ein Neuron eine Information an ein anderes Neuron weiterleiten kann, besitzt jedes Axon an seinem Ende zahlreiche Verästelungen, an denen sogenannte **Endknöpfchen** sitzen. Diese liegen an der Oberfläche anderer Nerven- oder Muskelzellen beinahe auf und bilden so die sog. **Synapse**, die die Kontaktstelle der Informationsweiterleitung zwischen den Neuronen darstellt. Ein Neuron kann dabei $10^3$ bis $10^4$ Synapsen auf sich vereinigen. In Abbildung 6-1 ist der prinzipielle Aufbau eines Neurons noch einmal gezeigt.

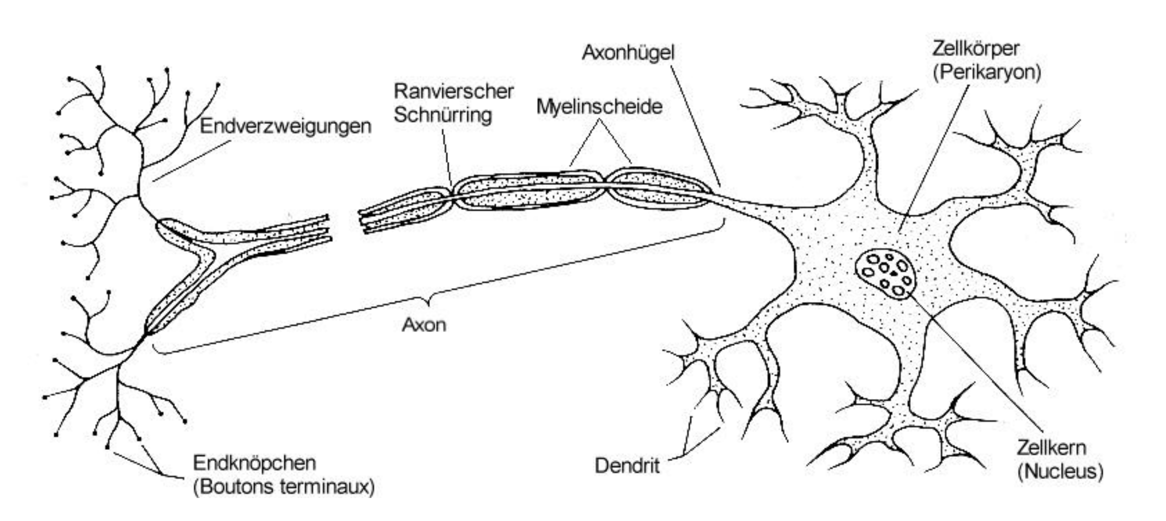



**Abbildung 6-1: Schematische Darstellung eines typischen Neurons (nach [And 96])**

Das Axon, auch Nervenfasern genannt, wird in markhaltige, markarme und marklose Nervenfasern unterteilt. Bei markhaltigen und markarmen Fasern ist das Axon mit einer eiweißreichen Hülle umgeben, der **Myelinscheide**, die von den sog. **Ranvierschen Schnürringen** unterbrochen wird. Letztere sind aktiv an der Weiterleitung der elektrischen Potentiale über das Axon beteiligt, da die Erregungsfortleitung sprunghaft (siehe Kapitel 6.1.1) von Schnürring zu Schnürring erfolgt und so eine Reizweiterleitung bis zu 120 m/s erreicht wird (in Gegensatz zu den markarmen Fasern, die nur Informationsweiterleitungsgeschwindigkeiten bis zu 15 m/s erreichen). Am langsamsten verläuft die Erregung in den marklo-

sen Fasern, da diese nur eine kontinuierliche Ausbreitung bis zu 2 m/s erreichen. Die Myelinscheide per se stellt einen Fortsatz der Gliazellen dar, weshalb ein Niedergang dieses Stützgewebes zu Ausfällen der Nervenübertragung führt.

### 6.1.1 Die Erregungsübertragung der Nervenzellen

Eine Erregung des Neurons von anderen Zellen geschieht nun ausschließlich über die Synapsen, die an der Oberfläche des zu **innervierenden Neurons** anliegen. Im einzelnen vollzieht sich die Informationsübertragung von einem Neuron zum anderen dabei so, daß von der Synapse sog. **Neurotransmitter** in den sog. **synaptischen Spalt** abgegeben werden, welche ab einer bestimmten Konzentration an der Oberfläche des innervierten Neurons zu einer Änderung der Leitfähigkeit des innervierten Neurons führen, indem sie eine Depolarisation der Zellmembran des innervierten Neurons bewirken. Der synaptische Spalt ist dabei sehr klein und verhindert, daß die interagierenden Neuronen eine Einheit bilden, was für die Stoffwechselabläufe und damit für die autome Existenz der einzelnen Neuronen wichtig ist. Meist ist der Beitrag einer einzelnen Synapse sehr gering, jedoch summieren sich die einzelnen Beiträge von verschiedener Synapsen meistens so sehr auf, daß die Depolarisation des innervierten Neurons ein sog. **Aktionspotential** auslösen (siehe Neuronenschaltung, räumliche Summation in [Kah 91] S.30), wodurch sowohl eine Informationsverarbeitung als auch eine Informationsweiterleitung bewirkt wird. Dies hängt damit zusammen, daß das sog. **Ruhepotential** einer Nervenzelle bei ungefähr –90 mV liegt und, da bei hinreichender Erregung der Zelle kurzzeitig positiv geladene Natrium-Ionen in das Innere des Neurons strömen, eine Spannung von ungefähr +30 mV aufgebaut wird. Diese Potentialänderung setzt sich nun entlang des Axons fort, indem sich kurzzeitig (in ca. eine Millisekunde) diese implizierte Potentialänderung zum Soma hin bewegt. Diese Fortleitung kann stetig sein, wie bei den sog. marklosen Neuronen oder sich, wie schon besprochen, sprunghaft über die Ranvierschen Schnürringe vollziehen.
Erreicht der initiierte Impuls über das Soma und das Axon die Synapsen des innervierten Neurons, so werden wiederum Neurotransmitter aus den sog. **Vesikeln** der Synapse in den synaptischen Spalt abgegeben. Die Vesikel kann man sich dabei als Behälter von Neurotransmittern vorstellen, die im Soma produziert werden, in die Sysnapse transportiert werden und nach ihrer Entleerung wiederum zum Soma zurücktransportiert werden, um dort „recycled“ zu werden.
Vom Aufbau der Verschaltung der Synapsen und den verwendeten Neurotransmittern hängt es ab, ob diese Erregung hemmend (inhibitorisch) oder anregend (exzitatorisch) auf das innervierte Neuron wirkt [Kei 79].

Anders als bei allen anderen Körperzellen steht die Zahl der Nervenzellen für den Menschen schon bei der Geburt fest, da Nervenzellen keine Teilungsfähigkeit haben und sich nur die Zahl der Verknüpfungen von Neuronen untereinander in den ersten drei Lebensjahren ändert. In weiteren Leben des Individuums erfolgt dann lediglich eine Konfigurationsänderung der Nervenbahnen, d. h. eine Änderung der Leitfähigkeit zwischen Neuronenverbindungen, die sowohl sowohl das Axon als auch den synaptischen Spalt betrifft.

### 6.1.2 Informationsspeicherung in Nervenzellen

In Tierversuchen konnte festgestellt werden, daß nach Lernvorgängen vermehrt RNA in den Neuronen gebildet wurde. Man nimmt deshalb an, daß dieser chemische Vorgang der Eiweißsynthese im Zusammenhang mit der Gedächtnisfixierung steht (vgl. [Mih 88] S.311). Durch diese Einlagerung verändert sich die elektrische Leitfähigkeit eines Zellverbandes, wodurch die Erregungsweiterleitung aktiv unterstützt wird. Am Axon wird dieser Prozeß dadurch verstärkt, daß sich die aus Myelin bestehende Markscheide erweitert, was sich ebenfalls positiv auf die Erregungsweiterleitung auswirkt. Im synaptischen Spalt hingegen werden Moleküle platziert, denen man die Eigenschaft zuspricht, daß sie die Übertragung der Neurotransmitter begünstigen.

## 6.2 Das Zentralnervensystem

Das gesamte **Nervensystem** eines Indiviuums beschränkt nun aber nicht nur auf das eigentliche **Gehirn**, sondern umfaßt auch die verschiedenen die **sensorischen Systeme** und die **Sinnesorgane** mit ihren Sinneszellen. Die Sinnesorgane bilden dabei die Schnittstelle des Individuums zu seiner Umwelt und

reagieren auf optische, akustische, chemische, Druck- oder Wärmereize oder auf die Zustände der Muskelrezeptoren. Diese „Zustandsmeldungen“ bzw. **Reizinformationen** des Sinnesapparates ermöglichen es dem Individuum sich in seiner Umwelt zurechtzufinden bzw. aktiv in seiner Umwelt zu agieren, in dem es im Zusammenwirken mit auf der Grundlage des reizbasierten Abbildes seiner Umwelt und den höher entwickelten Gehirnteilen des sogenannten **Neocortex** Entscheidungsstrategien entwickelt und diese z. B. mit Hilfe seines motorischen Apparates aktiv umsetzt.

Jedoch ist die eigentliche „Denkkappe“ Neocortex bzw. die anderen Teile des Gehirns nicht immer an der Handlungsaktorik des Individuums unmittelbar beteiligt, sondern teilweise geschieht die Verarbeitung von Reizinformationen auch außerhalb des Gehirns, wie zum Beispiel bei Reflexhandlungen, bei denen Sinnesinformation innerhalb des Rückenmarks verarbeitet wird und auf Grund ihrer Struktur ein bestimmter Handlungsablauf, eine bestimmte unbewußte Reaktion des Individuums, initiiert wird. Wir sprechen in einem solchen Fall von einem sogenannten **Reflexbogen**.

Da in beiden Nervenstrukturen Entscheidungen gefällt und Handlungen initiiert werden, bezeichnet man den Teil des Nervensystem, der aus dem **Gehirn** (***Encephalon***) und dem **Rückenmark** (***Medulla spinalis***) besteht, als das Zentralnervensystem. In Abbildung 6-2 ist dieses schematisiert gezeigt.

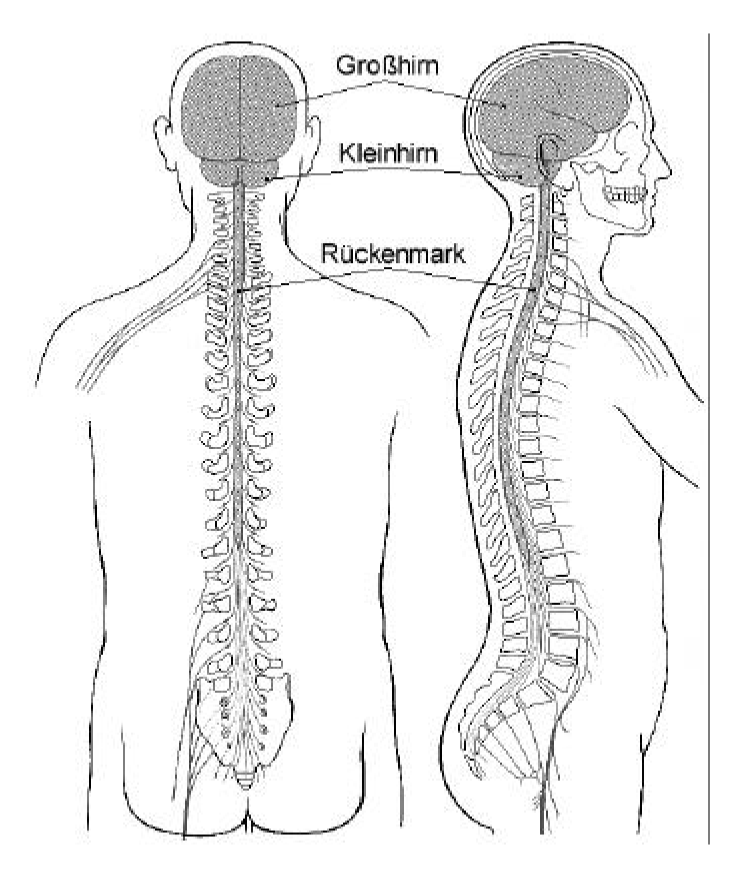



**Abbildung 6-2:** Das Zentralnervensystem (nach [Kah 91])

Da das Zentralnervensystem des Menschen die materielle Grundlage der bewußt erlebbaren Handlungs- und Erlebenszustände darstellt, spielt es die wichtigste Rolle bei der Informationsverarbeitung des Menschen, weshalb wir noch ein wenig tiefer auf seine Struktur und Handlungsweise eingehen wollen.

## 6.3 Das Rückenmark

Das Rückemark besteht aus Nervensträngen, die die Informationen über den Körper zum Gehirn weiterleiten und aus teilweise recht komplexen Neuronenschaltkreisen, die unbewußt erzeugte Handlungsstrategien entwerfen und umsetzen. Diese meist genetisch basierten Handlungsstrategien dienen haupt-

sächlich dazu, das Individuum bei Gefahr schnell handeln zu lassen bzw. und das ist wichtig für unsere späteren Betrachtungen stereotype Handlungen, wie z. B. das Laufen, ab einem bestimmten Routinegrad quasi autonom ablaufen zu lassen, wodurch das Gehirn mit seinen beschränkten Bewußtseinsressourcen entlastet wird. Diese Tatsache kann man sich z. B. zu nutze machen, wenn man bei einer Querschnittslämung auf das "Gedächtnis" des Rückenmarks zurückgreift, um dem Individuum ein "gestütztes" Laufen zu ermöglichen.
Aus dem Rückenmark treten 31 sog. **Spinalnervenpaare** aus, die auch als **peripheres Nervensystem** bezeichnet werden. Dabei unterscheidet man hauptsächlich zwischen **afferenten** (**somatosensiblen**) **Fasern** und **efferenten** (s**omatomotorischen**) **Fasern**. Die afferenten Fasern laufen innerhalb des Rückenmarks als aufsteigende Bahnen und leiten sensorische Informationen der Sinnesorgane bis in das Gehirn weiter. Hierzu zählen Schmerz- und Temperaturempfinden, Informationen über Lokalisation und Qualität der Tastempfindung (exterozeptive Impulse) sowie Informationen über die Stellung der Extremitäten und Körperhaltung (propriozeptiv). Die absteigenden Bahnen, bzw. efferenten Fasern, enden zum größten Teil an Zwischenneuronen. Sie leiten die Impulse für die willkürliche Motorik an Muskel- und Sehnenrezeptoren weiter. Sie beeinflussen Gleichgewicht, Muskeltonus, Motorik von Kopf und Extremitäten, übermitteln aber auch kortikale Hemmungen. Zusätzlich sind viszeromotorische und viszerosensible Fasern für die vegetativ sensible Versorgung der Eingeweide zuständig (vegetatives Nervensystem). Die Regulation wird durch das Zusammenspiel der beiden antagonistisch wirkenden Teile Sympathicus und Parasympathicus bewerkstelligt. Der Sympathicus dient der Leistungssteigerung in Streß- und Notfallsituationen, der Parasympathicus hingegen dem Stoffwechsel, der Regeneration und dem Aufbau körperlicher Reserven. Eine Erregung des Sympathicus bei verstärkter körperlicher Leistung führt zur Erhöhung des Blutdrucks, einer Beschleunigung des Herzschlags und der Atemfrequenz, bei gleichzeitiger Dämpfung von Magen- und Darmaktivitäten. Bei einem Überwiegen des Parasympathicus werden die Aktivitäten des Verdauungstraktes verstärkt, im Gegensatz dazu werden Herz- und Atemfrequenz verlangsamt.

## 6.4 Das Gehirn

Das Gehirn kann grob in Großhirn, Zwischenhirn, Mittelhirn und Kleinhirn gegliedert werden. Das Großhirn teilt sich in zwei Hemisphären, die über den Balken (*Corpus callosum*) miteinander verbunden sind. Wichtigster Bestandteil des Großhirns ist die Großhirnrinde (*Neocortex*), die aus 10 bis 14 Milliarden Neuronen besteht. Die Oberfläche ist stark gefaltet, um eine möglichst große Fläche zur optimalen Versorgung der Neuronen mit Nährstoffen zu gewährleisten. Die Rückenmarksflüssigkeit (*Liquor*) transportiert die Nährstoffe und Abfallstoffe zwischen den Zellen und dem Blut. Die starke Faltung bewirkt, daß eine große Anzahl von Neuronen im Neocortex Platz finden. Allgemein steht damit die Leistungsfähigkeit des Gehirns im Zusammenhang.
Im oberen Teil des Zwischenhirns liegt der Thalamus, darunter der Hypothalamus (vgl. Abbildung 6-3). Das Zwischenhirn ist ein wichtiger Vermittler zwischen Großhirn, Hormonsystem und vegetativem Nervensystem. Alle Informationen der Sinnesorgane passieren das Zwischenhirn, wo eine erste Verarbeitung erfolgt, bis die Informationen in das Großhirn weitergeleitet werden. Der Thalamus dient als Schaltstation für motorische und sensorische Informationen, der Hypothalamus regelt primäre Triebe wie Hunger oder Durst. Ein weiterer Bestandteil des Zwischenhirns ist die Hypophyse, die fast den gesamten Hormonhaushalt des Menschen steuert sowie die Sexualorgane, die Schilddrüse und die Verdauungsorgane stimuliert. Von hier wird ein Teil der Streßreaktionen unseres Körpers gesteuert und die Auswirkungen werden über Hypophyse und Thalamus an das Großhirn zurückgemeldet. Die ausgelösten Reaktionen (Änderung der Vitalparameter, Motorik, Gefühle) werden wieder als neue Wahrnehmungen aufgenommen, mit Erinnerungen aus dem Großhirn verknüpft und bedingen wiederum neue Reaktionen - ein Regelkreis mit Erregung und Hemmung, dessen Wechselspiel von immenser informationstechnischer Komplexität ist. Man bezeichnet dieses System auch als viszerales oder als emotionales Gehirn, womit seine funktionelle Bedeutung gekennzeichnet werden soll.
Diese funktionelle Einheit an der Grenze zwischen Großhirn und Zwischenhirn nennt man Limbisches System. Eine wichtige Funktion des Limbischen Systems, im Zusammenhang mit der Wahrnehmung, ist die emotionsgesteuerte Aufmerksamkeit. Die Thematik der Filterfunktion wird im Kapitel 10.1 „Gedächtnis und Repräsentation von Informationen„ noch genauer erläutert. Da das Konzept des Limbischen Systems auf funktionellen Zusammenhängen beruht, sind die anatomischen Strukturen nur ungenau definiert.

Dem Zwischenhirn schließen sich direkt Mittelhirn und Nachhirn an, die auch gemeinsam als Stammhirn bezeichnet werden. Diese gehen mit dem verlängerten Mark (*Medulla oblongata*) in das Rückenmark über. Das Kleinhirn (*Cerebellum*) liegt im Hinterkopf und spielt eine wichtige Rolle für die Motorik und willkürliche Bewegung des Menschen sowie für die Satzbildung beim Sprechen.

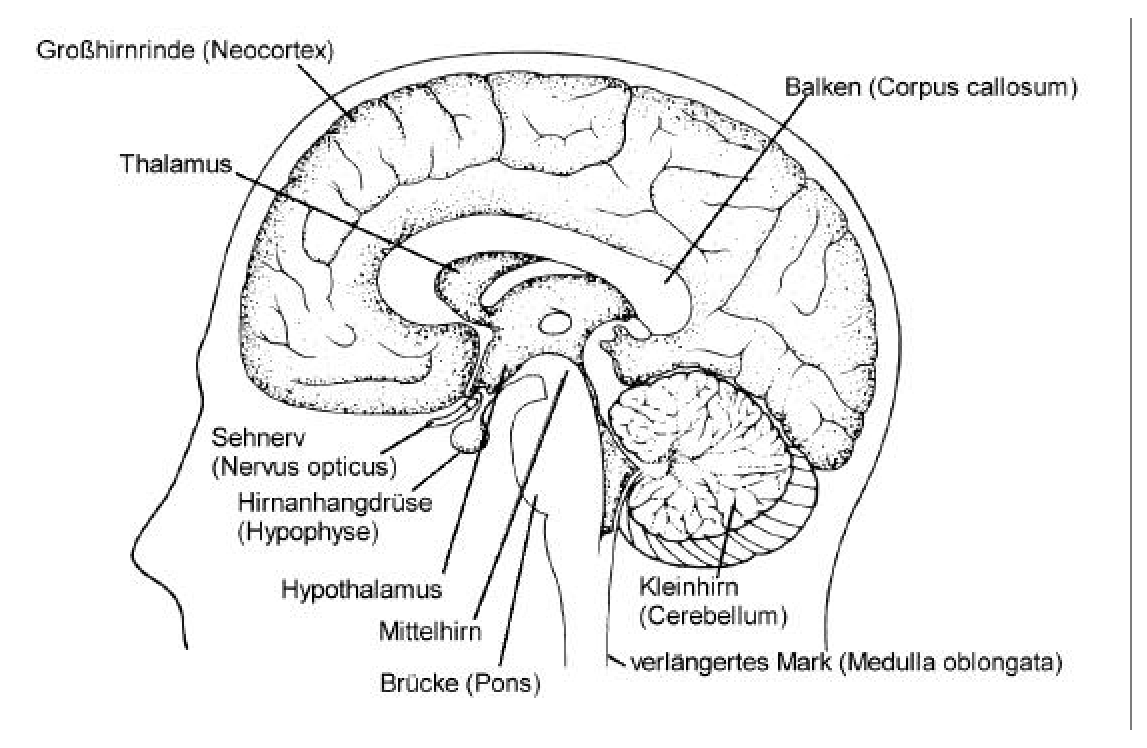



**Abbildung 6-3: Einige wichtige Bestandteile des Gehirns [And 96]**

Diese tiefer liegenden Teile des Gehirns sind die stammesgeschichtlich Älteren und dienen eher grundlegenden Funktionen (Atmung, Verdauung, Herzschlag, Körpertemperatur). Die Medulla oblangata zusammen mit netzartig verknüpften Nervenfortsätzen bis in das Mittelhirn wird als Formatio reticularis bezeichnet. Erregungen aller Sinnesqualitäten erreichen die Formatio reticularis, z. B. akustische und optische Impulse, Schmerzimpulse. Über Verbindungen mit den Thalamuskernen nimmt die Formatio reticularis Einfluß auf den Wachzustand des Menschen. Verstärkte Erregung durch sensorische oder kortikale Impulse versetzt den Organismus in einen schlagartigen Wachzustand. Eine wichtige Voraussetzung für die Aufmerksamkeit und Wahrnehmung sowie die Steuerung der Alarmkreise des Menschen (Siehe [Reu 97] Kap. 5.3.2.3.2.1 „Die Aufmerksamkeit“).

## *6.5 Lokalisierung einzelner Funktionen*

Durch Forschungen an Personen mit Hirnverletzungen sowie neueren Methoden der Hirnforschung (z. B. PET[3]) konnten einzelne Funktionsbereiche höherer zerebraler Leistungen lokalisiert werden. Man unterscheidet auf der Großhirnrinde einzelne Bezirke sogenannte Rindenfelder, die sich ähnlich einer Landkarte rekonstruieren lassen. Es gibt die sensible Rinde (Ort der sensorischen Felder), die zur Aufnahme von Informationen der Sinnesorgane dient. Die Endstätten der aufsteigenden Sinnesbahnen, sogenannte Projektionsfelder, sind z. B. der somato-sensorische Cortex, das primäre Sehzentrum (visuelle Felder) und das primäre Hörzentrum (auditive Felder). Die motorische Rinde (motorische Felder) dient hauptsächlich zur Koordination und Steuerung der Bewegung. Wichtige Bereiche sind der motorische Cortex und das motorische Sprachzentrum.

[3] **Positronen-Emissions-Tomographie (PET): Medizinisches Bildgebungsverfahren; eine dem Patienten injizierte radioaktive Substanz sendet Positronen aus, die Aufschluß über das Geschehen im Gehirn oder anderen Organen geben [Wel 89].**

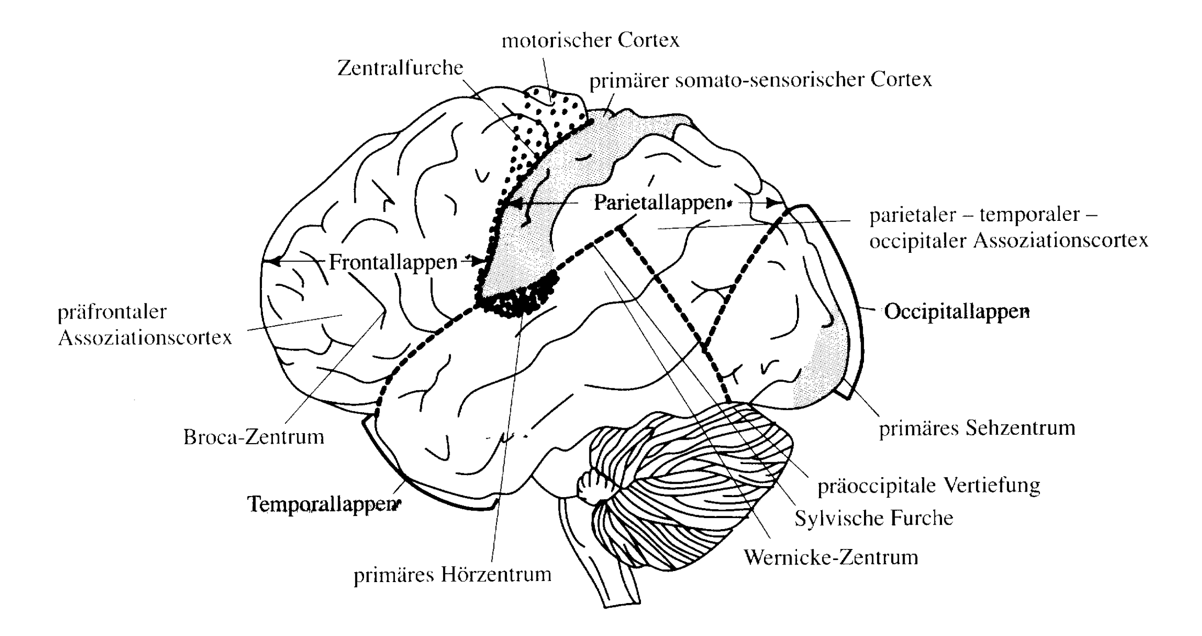



**Abbildung 6-4: Seitlicher cerebraler Cortex mit wichtigsten Bestandteilen [And 96]**

Der Neocortex teilt sich in linke und rechte Hemisphäre. Dabei bestehen enge Verbindungen der rechten Körperhälfte zur linken Hemisphäre und umgekehrt. Generell wird die linke Gehirnhälfte stärker mit der sprachlichen und analytischen Verarbeitung assoziiert. Hier befinden sich das Broca-Zentrum (motorisches Sprachzentrum) und das Wernicke-Zentrum (Semantik), die jeweils für bestimmte Prozesse des Sprechens verantwortlich sind. Diese beiden Bereiche sind aber nicht die einzigen, die beim Sprechen beteiligt sind. Bei Untersuchungen zum Lesen von Wörtern wurde festgestellt, daß Prozesse der visuellen Wahrnehmung eines Wortes in einem anderen Teil des Gehirns ablaufen (Occipitallappen, visueller Cortex) als Prozesse der Zuordnung von Bedeutung zu diesem Wort (Frontallappen). Die rechte Hemisphäre wird mehr mit wahrnehmungsgebundenen und räumlichen Prozessen in Verbindung gebracht. Sie dient dem Vergleich, der Betrachtung und der Zusammenfassung.

| Linke Hemisphäre (rechte Körperhälfte) | Rechte Hemisphäre (linke Körperhälfte) |
|---|---|
| Analytisches und logisches Denken | Phantasie und Intuition |
| Arbeiten mit Zahlen, Rechnen | Raumvorstellung, geometrisch |
| Sprechen und Schreiben | einfaches Wortverständnis |
| Sprachverständnis | nicht verbal |
| Sinn für Strukturelemente | Sinn für Bildhaftes und Muster |

**Tabelle 1: Aktivitäten beider Hemisphären nach [Ves 96]**

Die Lokalisation der Eingangskanäle ist nicht der Ort der Speicherung der Informationen, sie werden lediglich in diesen Bereichen aufgenommen und können dann durch neuronale Verknüpfungen über das gesamte Gehirn verteilt werden. Ort der Kombination von Informationen, wo geplant und nachgedacht wird, sind die Assoziationsfelder. Diese treten vermehrt im vorderen Bereich, dem Stirnlappen auf, sind aber faktisch über den gesamten Neocortex verteilt. Assoziationsfasern stellen Verbindungen zwischen den verschiedenen Rindenbezirken her und Kommissurenfasern verknüpfen die beiden Hemisphären miteinander.

Anders als das genetisch vorgegebene spezifische Nervensystem (die aufsteigenden Bahnen im Rükkenmark, über den Hirnstamm zum Thalamus bis in die spezifischen Projektionsfelder) sind die assoziativen Felder nicht klar lokalisierbar. Als unspezifisches Nervensystem werden alle Bahnen vom Thalamus in die assoziativen Felder des Cortex bezeichnet.

## 6.6 Anmerkungen

Im Kapitel 2 konnte nur kurz auf die äußerst komplexen, physiologischen Aspekte eingegangen werden. Ausführlich kann man sich in dem medizinisch orientierten Buch „dtv-Atlas der Anatomie; Nervensystem und Sinnesorgane“ [Kah 91] informieren.

Eine leichtverständliche Einführung bietet [And 96] S. 17-29. Grundlagen über das Gehirn, dessen Aktivität und medizinische Untersuchung finden sich in [Hak 97] S. 23–62.

Im Internet wird zum Thema Neurologie unter:
http://home.t-online.de/home/c.figge/homepage.htm eine ausführliche Dokumentation zu Aufbau, Funktion und Krankheiten des Nervensystems präsentiert.
In [Kah 91] S. 20 ff. befindet sich eine sehr detaillierte Darstellung der Mikrostruktur der Nervenzelle.
Sehr ausführlich beschreibt [Kei 79] die Vorgänge im Zentralen Nervensystem.
Über biochemische Vorgänge an der Nervenzelle geben die Kapitel 2.2 und 2.3 in [Mir 88] hinreichend Auskunft.

# 7 Physiologie des Sehens

Die Untersuchung der menschlichen Kognition setzt einen Schwerpunkt auf die visuelle Wahrnehmung als einen der wichtigsten Sinne des Menschen. Um die Beziehungen zwischen Gegenständen der Außenwelt und deren Repräsentation im Gedächtnis zu erforschen, ist die physiologische und psychologische Analyse des Sehens erforderlich.
In Bezug auf die Arbeit mit grafischen Benutzerschnittstellen am Computer interessieren hauptsächlich optische und akustische Reizaufnahme mit Auge und Ohr. Sehen und Hören gelten als die Sinnesmodalitäten, mit denen der Mensch die meisten verhaltenssteuernden Informationen über seine Umwelt gewinnt. Sie werden auch als höhere Sinne bezeichnet und wurden intensiver erforscht als die niederen Sinne, zu denen das Tasten, das Riechen und das Schmecken gehören.
Die folgende Übersicht gibt Auskunft über die Sinne und Sinnesmodalitäten des Menschen.

| **Organ (Lokalisation)** | **Wahrnehmungsart** |
|---|---|
| Auge | optisch |
| Ohr | akustisch |
| Nase | olfaktorisch |
| Mund (Zunge) | gastatorisch |
| Haut | taktil |
| Innenohr | statisch-dynamisch |
| Gelenke | kinästhetisch |
| Sehnen | kinästhetisch |
| Muskeln | kinästhetisch |

**Tabelle 2: Sinnesorgane**

Die Analyse der visuellen Wahrnehmung beginnt üblicherweise am Sinnesorgan selbst, dem Auge, mit dem sich unsere gesamte visuelle Welt erschließt.

## *7.1 Lichtsinnesorgan - Auge*

Die visuelle Informationsverarbeitung findet zuerst am Auge statt. An der Vorderfläche des Augapfels (*Bulbus oculi*) befindet sich die durchsichtige Hornhaut (*Cornea*), dahinter liegt die Linse, der die Regenbogenhaut (*Iris*) mit ihrer zentralen Öffnung, der Pupille, vorgelagert ist (siehe Abbildung 7-1). Die Regenbogenhaut bildet vor der Linse eine Art Blende. Im Hellen wird die Pupille durch Kontraktion der Iris verkleinert, im Dunkeln erweitert sich die Pupille und läßt mehr Licht auf die Netzhaut. Dieser Anpassungsvorgang wird als Adaption des Auges bezeichnet. Die Muskulatur zur Aufhängung der Linse reguliert zusätzlich den Krümmungsgrad der Linse und damit die Sehschärfe beim Nah- und Fernsehen. Dieser Vorgang wird als Akkomodation bezeichnet. An der Hinterwand des Augapfels tritt der Sehnerv (*Nervus opticus* – einer der zwölf Hirnnerven) aus. Das Innere des Auges, der Glaskörper (*Corpus vitreum*), ist eine zum größten Teil aus Wasser bestehende klare, geleeartige Substanz.

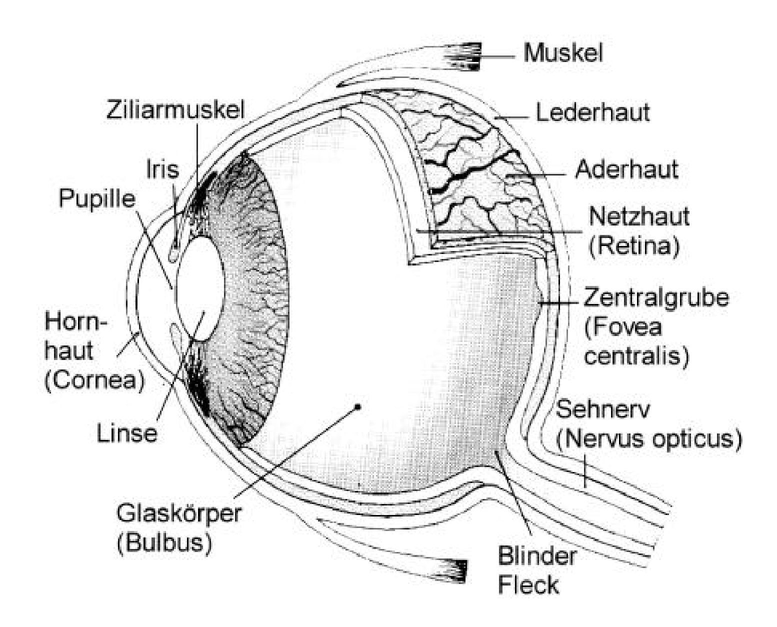



**Abbildung 7-1: Bau des Auges [Mir 88]**

Das durch die Hornhaut und Pupille eintreffende Licht durchquert die Linse und den Glaskörper und fällt auf die Netzhaut (*Retina*), die dadurch stimuliert wird. Ein photochemischer Prozeß wandelt das Licht in Nervenimpulse um. Es gibt zwei Arten von Sehzellen auf der Netzhaut: die Stäbchen zum Schwarz-Weiß-Sehen (bzw. Hell-Dunkel-Sehen in der Dämmerung) und die Zapfen, die auf Farben reagieren (Sehen am hellen Tag). Diese Sehzellen werden auch als Photorezeptoren bezeichnet, ihre Aufteilung in Stäbchen und Zapfen wird Duplizitätstheorie genannt.

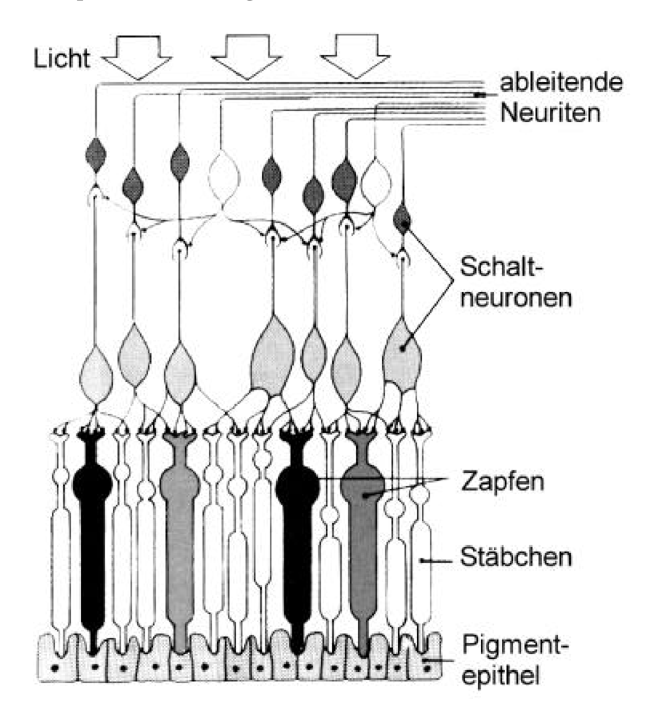



**Abbildung 7-2: Bau der Netzhaut [Mir 88]**

Die Photorezeptoren gelten als 1. Neuron der Sehleitung (*Stratum neuroepitheliale*). Ihnen schließen sich die bipolaren Schaltzellen an (*Stratum ganglionare retinae*), deren Dendriten an den Sehzellen

anliegen (2. Neuron). Ihre Axone haben Kontakt mit einer Schicht großer multipolarer Nervenzellen (*Stratum ganglionare nervi optici*), auch Ganglienzellen genannt (3. Neuron) und bilden mit ihnen Synapsen. Die ableitenden Axone der Ganglienzellen ziehen zur Papille und bilden den Nervus opticus, der durch die Papille aus dem Auge austritt. Der Austrittspunkt des Sehnervs wird auch als Blinder Fleck bezeichnet. Das 4. Neuron sind die Geniculatumzellen, deren Axone als Sehstrahlung bis zur Sehrinde des Cortex führen. Die vier nacheinander geschalteten Neuronen werden als Sehbahn bezeichnet. Sie verläuft unterhalb des Cortex bis zur Sehrinde, dem primären Sehzentrum.
Die Nervenbahnen vom Auge zum Gehirn kreuzen sich im *Chiasma opticum* derart, daß die Information der rechten Hälften der Augen zur rechten Gehirnhälfte führen und umgekehrt die Information des linken Teils des visuellen Feldes an die linke Gehirnhälfte geleitet wird. Dadurch verarbeitet die linke Hemisphäre Informationen des rechten Teils der Welt und umgekehrt.
Dem Bereich des seitlichen Kniehöckers (*Nucleus geniculatum laterale*) wird die Wahrnehmung von Details und Objekten zugeschrieben, der *Colliculus superior* soll für die Lokalisierung im Raum verantwortlich sein.

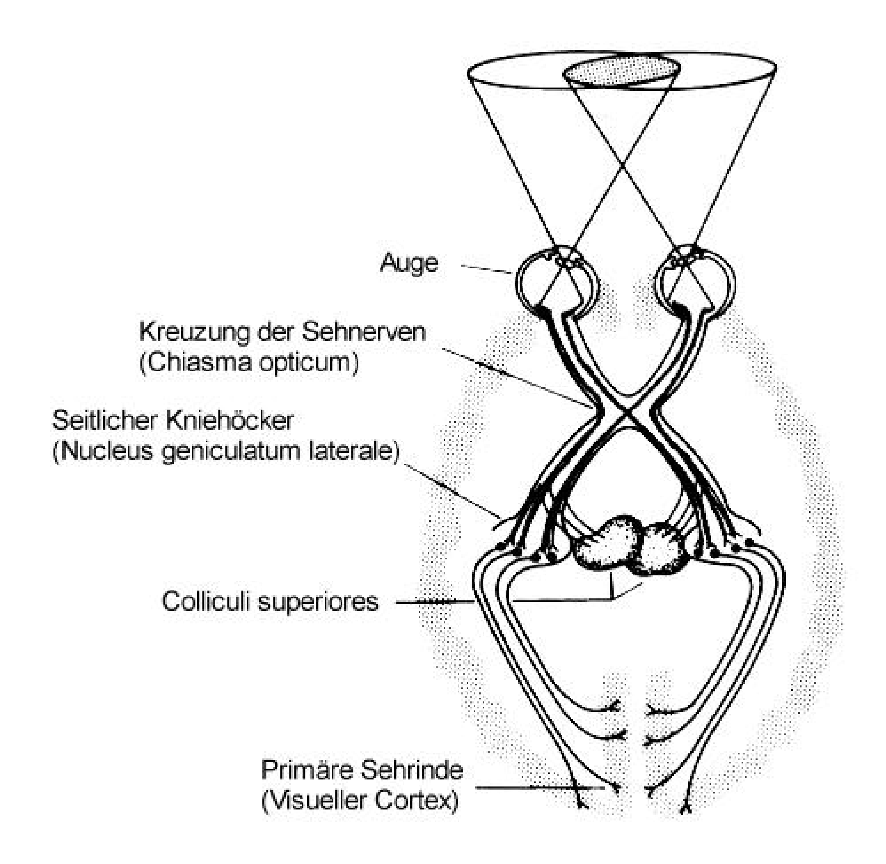



**Abbildung 7-3: Nervenbahnen vom Auge zum Gehirn [Kee 86]**

## 7.2 Hell-Dunkel und Farbsehen

Die Stäbchen enthalten das Sehpurpur, das Rhodopsin. Bei Lichteinfall ändert das Rhodopsin seine molekulare Struktur und löst eine nervöse Erregung aus [Sza 98]. Stäbchen reagieren auf Licht aller Wellenlängen und dienen nicht der Farbunterscheidung. Bei den Zapfen unterscheidet man drei Typen, die auf verschiedene Wellenlängen reagieren, jeweils am stärksten auf die Farben Blau-Violett, Grün und Gelb-Rot. Der lichtempfindliche Stoff der Zapfen heißt Iodopsin. Die Wellenlängenbereiche überschneiden sich, und der eigentliche Seheindruck wird im Gehirn erzeugt. Es gibt keine einheitliche Wellenlänge für Grau oder Braun, sie entstehen als Produkt des Gehirns. Werden alle Zapfen gleich stark erregt, ergibt das die „Farbe" Weiß. Der Ausfall einzelner Zapfentypen führt zur Farbblindheit (siehe Kapitel 13.2.6).
Farbiges Licht wird auf Grund der unterschiedlichen Wellenlängen in der Augenlinse verschieden gebrochen und als unterschiedlich entfernt wahrgenommen. Das heißt, für rote Farben ist das Auge weit-

sichtig, für blaue Farben kurzsichtig (siehe Anhang A2). Diese Fehlsichtigkeit wird mit Hilfe des Ziliarmuskels ausgeglichen. Ungünstige Farbkombinationen von Text und Untergrund wirken unscharf und bedeuten zusätzliche Anstrengung für das Auge (vgl. Kapitel 13.2.6 und Anhang A3).
Die menschliche Retina enthält etwa 120 Millionen Stäbchen und 6 Millionen Zapfen. Ihre Verteilung ist regional verschieden. Eine große Anzahl von Zapfen befindet sich in der Zentralgrube im sogenannten Gelben Fleck (*Fovea centralis*). Wenn ein Objekt besonders scharf betrachtet werden soll, dann werden die Augen so bewegt, daß das Objektabbild auf die Fovea fällt. Die große Konzentration von Zapfen ermöglicht eine hohe Auflösung des Objekts und eine Erkennung feiner Details. Der Rest des visuellen Feldes auf der Netzhaut ist für die Erkennung eher globaler Informationen zuständig einschließlich der Erkennung von beweglichen Objekten.

## 7.3 Optisches und zeitliches Auflösungsvermögen

Das optische Auflösungsvermögen des Auges ist die Fähigkeit, zwei Punkte gerade noch zu unterscheiden. Es ist stark vom Gesundheitszustand und den Lichtverhältnissen abhängig. Ein gesundes Auge kann bei hellem Licht in 5 m Entfernung zwei Punkte mit einem Abstand von 1,5 mm gerade noch unterscheiden. Der Sehwinkel beträgt 0,0172º (ca. eine Bogenminute). Das Abbild auf der Netzhaut ist dann etwa 5 µm groß und bedeckt gerade 4 Sehzellen im fovealen Bereich [Str 97].
Intermittierende Lichtreize steigender Frequenz verlieren oberhalb einer bestimmten Frequenz den unsteten Eindruck des Flackerns bzw. Flimmerns. Die Verschmelzungsfrequenz variiert mit der Lichtstärke, Wellenlänge und Größe der belichteten Netzhautareale und liegt im Durchschnitt bei ca. 20 bis 25 Lichtreizen pro Sekunde (Anwendungen: 25 Vollbilder/s bei Video und Animationen, 50 Halbbilder/s beim Fernseher, besser: 100 Hz-Fernseher ohne Flimmereffekt, mehr als 75 Hz gelten als ergonomische Bildschirmfrequenz bei Computermonitoren).

## 7.4 Rezeptorische Felder und Konvergenz

Die Schaltneuronen der Netzhaut sind zur Peripherie hin mit immer mehr Sehzellen auf ein ableitendes Neuron vereinigt. Die Neuriten dieser Zellen erhalten so Informationen mehrerer Zellen. Diese zusammengehörigen Zellen nennt man rezeptorisches Feld. Es gibt verschiedene Arten dieser Felder, die auf unterschiedliche Reize reagieren. Manche reagieren bei direkter Lichteinstrahlung, manche nur bei Beleuchtung des Randes, andere reagieren auf bestimmte Formen oder Bewegungen (siehe Kapitel 8).
Als Konvergenz bezeichnet man die Eigenschaft beider Augäpfel, entfernte fixierte Gegenstände auch beim Annähern stets im Schnittpunkt der Blicklinien zu halten. Die anfangs fast parallel verlaufenden Blicklinien beginnen sich dabei zu schneiden, und das Abbild des sich nähernden Objektes wird stets in den Bereich der Fovea projiziert. Die Verschiebung der Sehachsen (Querdisparation) beider Augen verhindert ein Doppelbild und begrenzt die Fixationsfläche. Nur wenn die einzelnen Außenweltpunkte auf korrespondierende Bereiche der Netzhaut abgebildet werden, können die Signale zu einem gemeinsamen Wahrnehmungseindruck vereinigt werden. Man nennt diesen, von der Augenmotorik gesteuerten, Vorgang auch Fusion.

Zum Abschluß einige wichtige Parameter der visuellen Wahrnehmung des Menschen (siehe Tabelle 3).

| **Parameter** | **Wert** |
|---|---|
| Adäquater Reiz | Elektromagnetische Schwingungen<br>Wellenlänge 400-700 nm<br>Frequenz 430-750 THz |
| Regelungsprozesse | Akkomodation (Schärfe)<br>Konvergenz (Fusion, Doppelbilder)<br>Pupille (Eingangsenergie)<br>Adaption (Empfindlichkeit)<br>Augen-, Kopf-, Körperbewegungen (Inputselektion durch Fixation) |
| Adaptionszeit | Dunkel-hell: 1 s, max. 15-60 s<br>Hell-dunkel: max. 30-45 min |
| Absolutschwelle | Tagessehen $10^{-14}$ W<br>Nachtsehen 2...6*$10^{-17}$ W |
| Absolut unterscheidbar | 3-7 Intensitäten, 12-13 Frequenzen |
| Räumliche Auflösung | 1 Bogenminute (foveal, Helligkeit und Kontrast hoch) |
| Zeitliche Auflösung | 15-20 ms (abhängig von Ermüdung und Intensität; Problem des Flimmerns) |
| Korrespondenz des Reizparameters zur Sinnes-qualität | Intensität – Helligkeit<br>Frequenz (rein) – Farbe<br>Frequenzgemisch – Sättigung |

**Tabelle 3: Elementare Eigenschaften der visuellen Wahrnehmung [Str 97]**

# 8 Visuelle Informationsverarbeitung und Wahrnehmung

Sehen ist mehr als nur einfache Registrierung sensorischer Information oder optische Verarbeitung von Lichtreizen. Obwohl es ausgefeilte technische Geräte gibt, deren Hochleistungsoptik jedes natürliche Auge bei weitem übertreffen (Auflösung, Intensität, Wellenlängenbereich), gibt es doch große Schwierigkeiten, technischen Systemen das „Sehen“ beizubringen. Der Sachverhalt der Extraktion von Formen und Objekten und die Zuordnung von Interpretationen zu diesen sensorischen Informationen macht den eigentlichen Vorgang des Sehens aus.
Im Kapitel 7 „Physiologie des Sehens„ wurden die frühen Prozesse der visuellen Informationsverarbeitung beim Menschen angesprochen. Im weiteren wird nun auf die Gewinnung von Konturen und Flächen sowie die Identifikation von Formen und Objekten eingegangen.

## *8.1 Wahrnehmung von Mustern, Tiefe und Oberfläche*

Die Kodierung von Musterinformationen beginnt bereits in den Ganglienzellen der Netzhaut. Einige rezeptive Felder der Netzhaut zeigen einen Anstieg der Erregung (Frequenz des Reizes erhöht sich), wenn Licht direkt das Zentrum des rezeptiven Feldes trifft. Licht, das außerhalb des Zentrums auftrifft, bewirkt eine Senkung der Erregung. Solche Felder werden als On-Off-Zellen bezeichnet. Im Gegensatz dazu gibt es Off-On-Zellen, deren Erregung gehemmt wird, wenn Licht auf das Zentrum triff und deren Erregung steigt bei Lichteinfall auf die Umgebung des Feldes.
Diese Zelltypen vereinigen sich im Cortex zu sogenannten Balken- und Kantendetektoren (siehe Abbildung 8-1). Kantendetektoren reagieren erregt auf Licht an der einen Seite und gehemmt auf Licht an der anderen Seite. Balkendetektoren werden angeregt durch Licht im Zentrum, reagieren also maximal, wenn Licht direkt den schmalen Streifen im Zentrum abdeckt. Balken- und Kantendetektoren reagieren dadurch sehr spezifisch auf Position, Ausrichtung und Ausdehnung des Lichtreizes auf der Netzhaut. Im Cortex werden diese Erregungsstimuli zu Mustern neuronaler Aktivität verarbeitet.

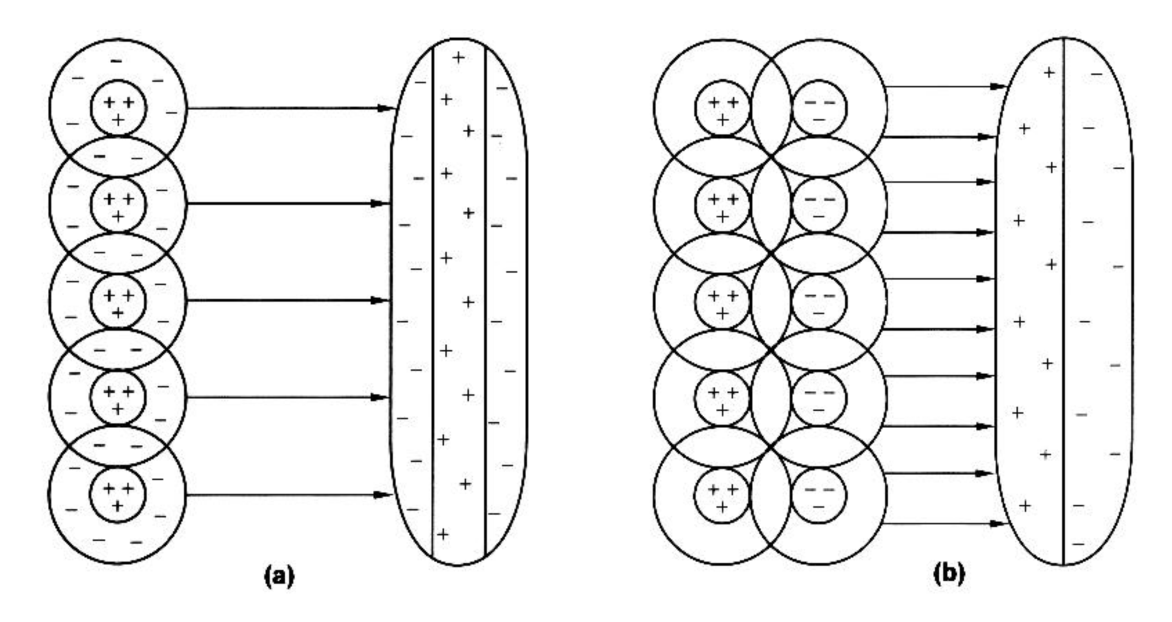



**Abbildung 8-1: Hypothetische Verknüpfung von Balkendetektoren (a) und Kantendetektoren (b) [And 96]**

Nachdem die Detektoren erste Vorverarbeitung geleistet haben, muß nun die Lage der Balken und Kanten im Raum bestimmt werden. Ein Problem stellt die zweidimensionale Projektion auf der Netzhaut dar, aus der erst eine dreidimensionale Repräsentation aufgebaut werden muß. Man beachte auch, daß das Abbild der Netzhaut auf dem „Kopf“ steht und erst im Gehirn wieder „aufgerichtet“ wird. Der Aufbau eines dreidimensionalen Eindrucks geschieht mit Hilfe einiger Zusatzreize, die aus dem 2D-Bild generiert werden.

### 8.1.1 Texturgradient, Stereopsie, Bewegungsparallaxe

Einen wichtigen Hinweis zur Erkennung von Tiefe liefert der Texturgradient (siehe Abbildung 8-2). Mit zunehmender Entfernung scheinen die wahrgenommenen Elemente dichter zu liegen. Obwohl die Abbildung eine Fläche ist, führt die Textur zu einem Tiefeneindruck.

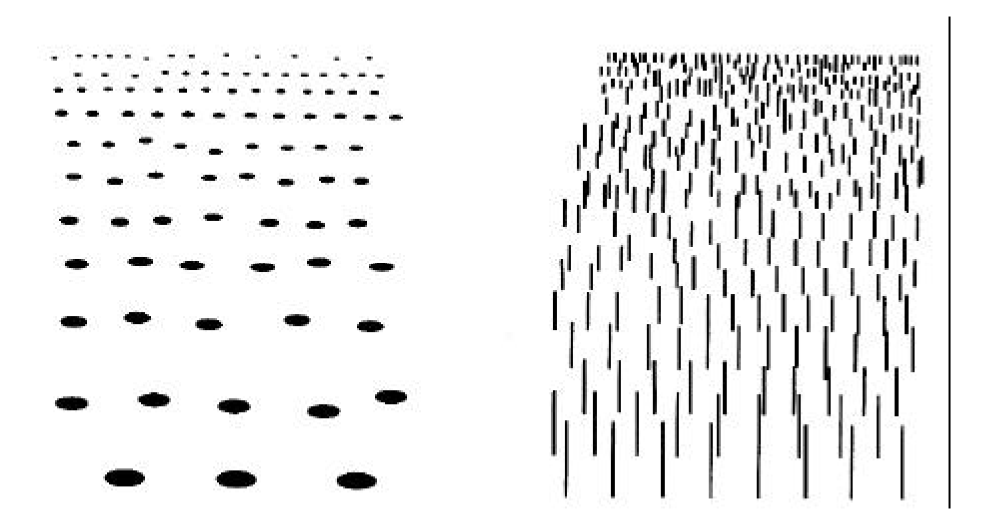


**Abbildung 8-2: Zwei mögliche Texturgradienten [And 96]**

Ein wichtiger Zusatzreiz ist das leicht unterschiedliche Bild, das von den beiden Augen aufgenommen wird. Dieser Hinweisreiz wird Stereopsie genannt. Den Effekt der Stereopsie macht man sich auch in neueren Kinos zunutze, wo Zuschauer Brillen tragen, die ein leicht unterschiedliches Bild an die Augen liefern. Die Kinoleinwand zeigt gleichzeitig die Filmaufnahme aus zwei, horizontal versetzten Kameraperspektiven. Die Brille liefert jedem Auge ein entsprechendes Kamerabild. Der Eindruck ist verblüffend und läßt ein dreidimensionales Bild vor der eigentlichen Kinoleinwand entstehen.
Der dritte wichtige Hinweis über die fehlende Dimension wird über die Bewegungsparallaxe generiert. Bewegungsparallaxe bedeutet, daß sich bei Bewegung des Kopfes nahe Objekte schneller über die Netzhaut bewegen als entfernte Objekte.
Da unser Kopf und die Augen nie exakt ruhig im Raum stehen (vgl. Kapitel 8.5), werden die Informationen ständig dem 2D-Abbild der Netzhaut entnommen, um einen räumlichen Eindruck (Repräsentation) der Lage von Oberflächen zu erzeugen.

### 8.1.2 Raumperspektive, Luftperspektive

Ein wichtiger Hinweisreiz ist die Raumperspektive (auch statische Perspektive), die sich auf Fluchtlinien und den optischen Horizont bezieht. Parallele Linien, die im Bildhintergrund zusammenlaufen, erzeugen einen starken Tiefeneindruck. Ein Beispiel ist eine lange, gerade Straße, die am Horizont zu einem Punkt zusammenläuft. Der Tiefeneindruck entsteht durch die trapezförmige Abbildung der parallelen Linien auf der Netzhaut.
Ein weiterer Faktor für räumliches Sehen ist die Luftperspektive. Objekte in großen Entfernungen (größer 100 m) verlieren in natürlicher Umgebung an Farbintensität und Kontrast. Die Oberflächenfarbe scheint nach Grau-Blau verschoben [Str 97].

## *8.2 Wahrnehmung von Objekten - Gestaltgesetze*

Die Informationen über Kanten und Oberflächen reichen nicht aus, um eine Bestimmung der Objekte der 2D-Szene zu erzeugen. Vielmehr muß die Zugehörigkeit des Erkannten zu den Objekten extrahiert werden. Um diese Segmentierung von Objekten durchzuführen, benutzt das Gehirn Gesetzmäßigkeiten über bestimmte Gestaltfaktoren. Der psychologischen Forschung entstammt eine umfangreiche Sammlung derartiger Gesetzmäßigkeiten. Die wichtigsten Gestaltgesetze der Wahrnehmung möchte ich kurz erläutern.

### 8.2.1 Gesetz der Nähe (Gruppierung)

In Abbildung 8-3 sieht man acht Linien nebeneinander, jedoch nimmt man hauptsächlich vier Paare von Linien wahr. Die Nähe jeweils zwei dieser Linien wird vom Gehirn zur Gruppierung benutzt. Eng nebeneinander liegende Objekte werden oft zu Einheiten zusammengefaßt.

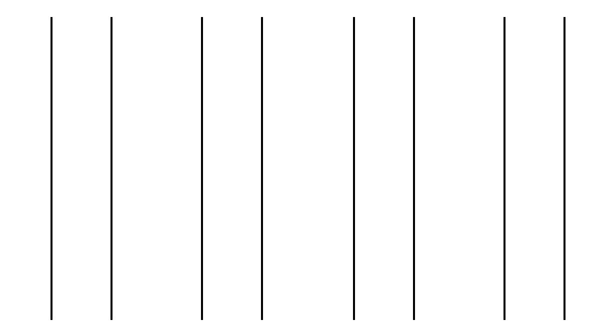


**Abbildung 8-3: Gesetz der Nähe**

### 8.2.2 Gesetz der Ähnlichkeit

In der Abbildung 8-4 erkennt man vorwiegend Gruppen von gleichartigen Objekten, die in der Waagerechten liegen. Seltener werden wechselnde Anordnungen von Kreisen und Kreuzen in der Senkrechten erkannt.

o o o o o o

X X X X X X

o o o o o o

X X X X X X

o o o o o o

**Abbildung 8-4: Gesetz der Ähnlichkeit**

### 8.2.3 Gesetz des glatten Verlaufs (Kontinuität)

Die Abbildung 8-5 zeigt zwei Linien. Unsere Wahrnehmung bevorzugt die Linien von a nach b und von c nach d. Dafür gibt es keinen objektiven Grund. Die Linienführung könnte auch von a nach c und von d nach b gehen.

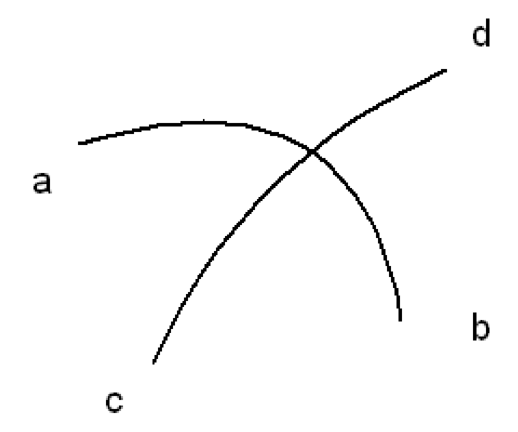



**Abbildung 8-5: Gesetz des glatten Verlaufs**

### 8.2.4 Gesetz der Geschlossenheit

Man erkennt in der Abbildung 8-6 (a) einen Kreis, der von einem zweiten Kreis teilweise überdeckt wird. Objektiv gibt es keinen Grund zu dieser Annahme. Die Figur könnte auch aus Elementen zusammengefügt sein, wie sie in Teil (b) dargestellt sind.

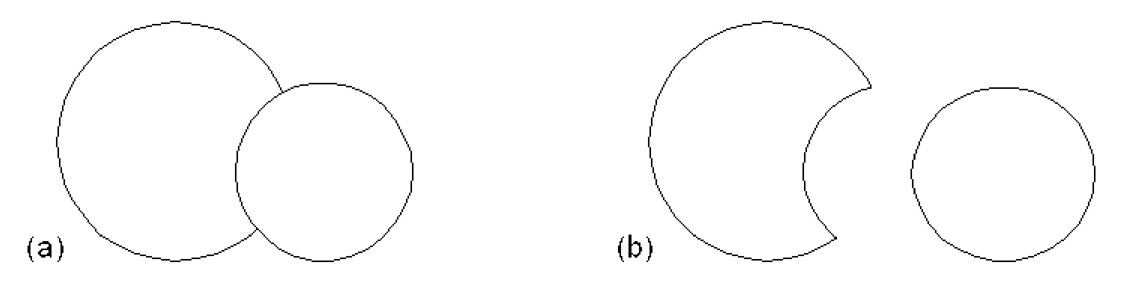



**Abbildung 8-6: Gesetz der Geschlossenheit**

Aus dem Überdeckungseindruck erzeugt das Gehirn wichtige Informationen über die Lage von Objekten im Raum.

### 8.2.5 Gesetz der Kohärenz

Je nach Zugehörigkeit des Viereckes zum senkrechten Oval oder zum gestrichelten Oval interpretiert man das Viereck als Raute oder Quadrat.

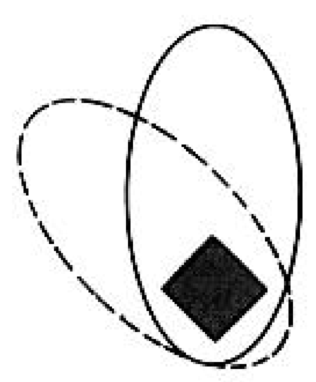


**Abbildung 8-7: Gesetz der Kohärenz**

### 8.2.6 Gesetz der Kontur

Objekte der Natur sind begrenzt. Wenn diese Konturen unterbrochen sind, werden die detektierten Kanten vom Gehirn ergänzt (siehe Abbildung 8-8). Die Erkennbarkeit wird dadurch verbessert.

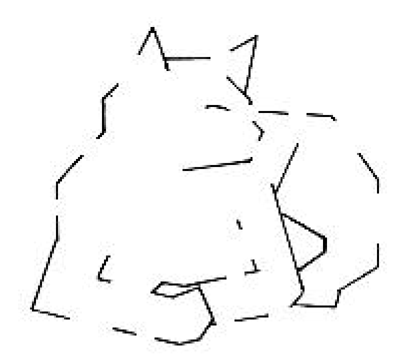


**Abbildung 8-8: Gesetz der Kontur**

## *8.3 Kontextregeln*

Neben den Gestaltgesetzen gibt es grundlegende logische Regeln, die bei der Extraktion von Merkmalen berücksichtigt werden. Die Identifikation von Einzelheiten wird immer in Bezug zum aktuellen Kontext stehen. Die fünf Regeln möchte ich hier kurz nennen [Reu 97].

- Verdeckungsregel:
  Gegenstände verdecken im allgemeinen den Hintergrund.
- Unterlagenregel:
  Gegenstände liegen meist auf einer Unterlage auf.
- Wahrscheinlichkeitsregel:
  Manche Gegenstände sind nur in bestimmten Kontexten anzutreffen.
- Ortsregel:
  Gegenstände, die in einem bestimmten Kontext wahrscheinlich sind, werden dort nur an bestimmten Orten auftreten.
- Regel der gewohnten Größe:
  Gegenstände treten nur in einer bestimmten Größe bzw. Größenverhältnis auf.

Die Regeln bezüglich des Kontextes und die Gestaltfaktoren sind wichtige Eindrücke, die bei der Segmentierung von Objekten herangezogen werden. Objekte, die nach diesen Gesetzen gegliedert sind, werden schneller und sicherer aus einem Abbild extrahiert und wiedererkannt. Das bestätigen auch experimentelle Untersuchungen (siehe [And 96] S.42). Bei der Gestaltung von grafischen Benutzerschnittstellen sind diese Gestaltfaktoren unbedingt zu beachten. Inkonsistenzen bedingen also immer eine erhöhte Aufmerksamkeitsleistung und benötigen mehr Zeit bei der Erkennung.

## *8.4 Merkmalsanalyse und Objekterkennung*

Die wahrgenommenen Objekte müssen nun eine Zuordnung von Interpretationen erfahren, damit man vom eigentlichen „Sehen" sprechen kann, denn Sehen bedeutet immer auch eine inhaltliche, also semantische Deutung. Zu diesem Thema gibt es verschiedene Wahrnehmungstheorien, wie z. B. Schablonenabgleich oder Merkmalsanalyse. Die Theorie des Schablonenabgleichs (template-matching) geht davon aus, daß ein getreues Abbild der Netzhaut an das Gehirn übermittelt wird. Es wird versucht, dieses Abbild mit bereits bekannten Mustern, in Form einer Schablone, zur Deckung zu bringen. Stimmen Schablone und Muster überein, wird das Muster erkannt. Beim Schablonenabgleich wird die exakte Übereinstimmung zwischen Muster und einem Stimulus bestimmt. Dies wird jedoch von einigen Wissenschaftlern als umstritten angesehen. Eine andere Theorie ist die Mustererkennung mittels Merkmalsanalyse.

### 8.4.1 Das Modell der Merkmalsanalyse

Hierbei geht man davon aus, daß die Informationen aus den Balken- und Kantendetektoren im Gehirn nach Merkmalen untersucht wird. Die Informationen sind einfach strukturiert und können mit gespeicherten Mustern analysiert werden. Die erkannten Merkmale werden dann auf ihre Kombination, d. h. Lage, Überschneidungen, Größenverhältnisse usw. untersucht. Ein kleines Beispiel zur Merkmalsanalyse von Buchstaben aus dem Buch von John R. Anderson soll das verdeutlichen:

*„So ist ein entscheidendes Merkmal des A, daß sich die beiden um jeweils etwa 30 Grad geneigten Striche an der Spitze (oder ungefähr an der Spitze) schneiden und daß der Querstrich sie beide schneidet".*

Dieses Modell bietet den Vorteil, daß die Beschreibung der Merkmale einfacher und flexibler ist. Auf das Beispiel bezogen: es muß nicht für jede Form des Buchstaben A eine Schablone existieren.
Die Merkmalsanalyse kann beschreiben, wie der Mensch einfache Objekte (z. B. Buchstaben) erkennt. Das Modell reicht jedoch nicht aus, um die Erkennung komplexer Objekte zu erklären, die aus vielen Merkmalen und deren Kombinationen aufgebaut sind.

### 8.4.2 Theorien der Objekterkennung

Ein sehr wichtiger Ansatz der Objekterkennung stammt von D. Marr[4], einem britischen Psychologen. Danach werden komplexe Objekte als bekannte Konfigurationen einfacher Komponenten erkannt. Ausgehend von der zweidimensionalen Repräsentation auf der Retina wird durch Merkmalsextraktion die Primärskizze gebildet (vgl. Abbildung 8-9). Mit den bereits beschriebenen Mechanismen wird die Tiefeninformation analysiert und eine $2^1/_2$D-Skizze erzeugt. Diese Skizze enthält Konturen, Orientierungen und Tiefe bei Oberflächen sowie ein betrachterzentriertes Koordinatensystem. Der Sehvorgang endet dann in einem 3D-Modell, in dem die Objekte endgültig räumlich beschrieben sind [Mar 82]. Nach Marrs Theorie sind bekannte Objekte als Konfigurationen einfacher geometrischer Objekte aufzufassen. Unabhängig von der tatsächlichen Entfernung eines Objektes wird dessen Form und räumliche Ausdehnung erkannt oder mit Hilfe unseres Wissens (unserer mentalen Modelle über bekannte Objekte – gespeichert in unserem Langzeitgedächtnis [Reu 97] Kap. 5.2.1.4) rekonstruiert.

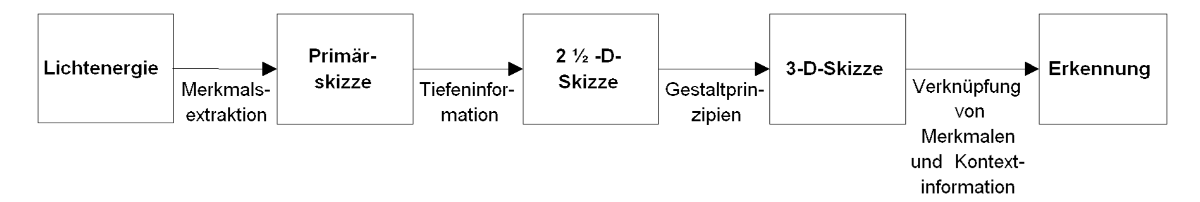



**Abbildung 8-9: Informationsfluß der Wahrnehmung nach dem Modell von Marr**

Auf eine ähnliche Weise beschreibt die Theorie der komponentialen Erkennung ein komplexes Objekt mittels grundlegender Teilobjekte [Bie 87]. Zuerst wird das Objekt in Teilobjekte gegliedert und danach wird jedes einzelne Teilobjekt klassifiziert. Jedes Teilobjekt kann in eine von 36 grundlegenden Kategorien klassifiziert werden und ist durch seine geometrische Form und Achsen bestimmt. Ein Objekt wird als dasjenige Muster erkannt, das aus der Konfiguration der Teilobjekte zusammengesetzt ist. Schematische Strichzeichnungen von Objekten reichen demnach zum Erkennen aus und sind genauso gut wie Farbfotografien.

Allgemein werden Objekte erkannt, indem die aus der Wahrnehmung extrahierten Informationen mit den Formen verglichen werden, die in unserem dreidimensionalen Wissensmodell repräsentiert sind. Durch Kombination und Erweiterung unserer mentalen Modelle können dann auch neue, noch unbekannte Ob-

[4] **Marr, David (1945-80), britischer Psychologe, sein Buch „Vision: A computational investigation into the human representation and processing of visual information" zählt zu den bedeutendsten Büchern der Kognitionswissenschaft. Er entwickelte ein 3-stufiges Modell der visuellen Informationsverarbeitung.**

jekte erkannt oder mit bekannten Objekten in Beziehung gebracht werden. Diese Eigenschaft ist eine Voraussetzung und Grundlage der menschlichen Handlungssteuerung in unbekannten Situationen.

## 8.5 Wahrnehmung von Bewegung

Wahrnehmung und Bewegung sind untrennbar miteinander verknüpft. Zusätzlich zur Bewegung unseres Körpers (Mikrobewegung Frequenz: 4 bis 25 Schwingungen pro Sekunde, Amplitude: 0,5 bis 5 µm pro Sekunde) haben unsere Augen eine Eigenbewegung, den Nystagmus (Hin- und Herbewegen der Augen 30-70 mal pro Sekunde). Gleicht man diese Bewegungen aus und erzeugt eine fixierte Wahrnehmung, dann verschwindet das Gesehene. Der Teil, auf den man bewußt achtet, erhält sich am längsten.
Das Erkennen von Eigen- und Fremdbewegung wird aus der Zusammenfassung aller aufeinanderfolgenden Beobachtungsorte, -bewegungen und -fixationen ermöglicht. Bei Kopf- und Körperbewegungen hilft uns der Konstanzmechanismus bei der Orientierung im Raum (siehe Kapitel 9.2.5). Zusätzlich hilft der Orientierungsreflex, den Kopf unwillkürlich in jede neue Blickrichtung auszurichten. Bewegungen in der Umgebung werden mit Hilfe der Tiefenorientierung, hauptsächlich der Bewegungsparallaxe erkannt (siehe Kapitel 8.1.1). Nähere Objekte bewegen sich schnell über den Hintergrund, entfernte Objekte dagegen langsam.
Zusätzlich werden von unserem Wahrnehmungsapparat Scheinbewegungen generiert. Ein bekanntes Phänomen ist der Stroboskopeffekt (siehe Kapitel 9.3.1). Eine andere Scheinbewegung wird durch die Trägheit unserer visuellen Wahrnehmung erzeugt. Die Trägheit entsteht durch die Dauer der Reizleitung und der Refraktärzeit der Nervenzellen. Dadurch kann eine scheinbare gerichtete Bewegung entstehen, wie sie bei Lichterketten mit Lauflicht zu beobachten ist.

## 8.6 Träger-Muster-Bedeutung

Mit dem Wissen aus den vorherigen Kapiteln läßt sich der Verlauf der visuellen Informationsverarbeitung auch in Übereinstimmung mit dem Modell „Träger-Muster-Bedeutung“ von Helmuth Benesch erklären. Dieses Modell vereint sowohl neurologische, psychologische und kognitionswissenschaftliche Erkenntnisse [Reu 97].
Die Trägerebene der visuellen Informationsverarbeitung stellen die Zellen des Auges, speziell die Photorezeptoren sowie die Neuronen und Gliazellen des Gehirns dar (eigentlich die Gesamtheit aller Zellen). Die physikalischen Reize der Umwelt werden in axonale Impulse und synaptische Übertragungen gewandelt.
Die Musterebene betrifft die Aktivitätsmuster der Neuronen und des Gehirns. Die Lichtsignale, die auf die Netzhaut fallen, werden mittels der rezeptiven Felder in rhythmische und figurale Muster transformiert. Die Intensität des Reizes bedingt eine stärkere Feuerungsrate der On-Off bzw. Off-On-Zellen, d. h. eine höhere Frequenz der axonalen Impulse bei der Weiterleitung durch das Gehirn. Die synaptische Figuration ist eher einem Strömungsvorgang vergleichbar. Der Weg, den die Information über Nervenzellen und Synapsen geht, kann als figurale Musterbildung aufgefaßt werden. Die Spuren der einzelnen Nervenimpulse (Engramme) ergeben dann spezielle Muster, die sich im gesamten Gehirn ausbreiten können. Aus neurologischen Untersuchungen (PET) ist bekannt, daß beim Sehen weit mehr Bereiche als nur die Sehbahnen und die Sehrinde eine erhöhte Aktivität zeigen.
Die Bedeutungsebene verbindet die entstandenen Muster mit der Erregungsbedeutung und weist ihnen gegebenenfalls eine Bewußtseinsqualität zu. Die Frequenz des Aktivitätsmusters kennzeichnet die „Mächtigkeit“ der Sinneseindrücke und die Muster, sofern sie die Aufmerksamkeit erlangen, kennzeichnen das subjektive Wissen (die emotionale Bedeutung). Hier verweise ich auf das Kapitel „Bewußtsein“ in [Reu 97], das Kapitel „Psychokybernetik“ in [Ben 96], sowie auf [Str 97].
Zwei wichtige Aspekte, die damit im Zusammenhang stehen, sind das Mehr-Speicher-Modell des Gedächtnisses und die Wissensrepräsentation mittels Icons und Chunks, die im Kapitel 10 „Wissensrepräsentation“ erklärt werden.

# 9 Psychologische Aspekte der Wahrnehmung

Der Inhalt der Wahrnehmung wird vom Netzhautabbild angeregt, durch die Gesamtheit der kognitiven Vorgänge im Gehirn dargestellt und dann wieder auf die Außenwelt zurückprojiziert.

Der Verlauf der Wahrnehmung beginnt mit den gegebenen physikalischen Bedingungen der Außenwelt, von der Reizquelle (Licht) bis zum Auge und geht über in den physiologischen Teil, vom Sinnesorgan bis zur Sehrinde. Der psychologische Teil, die Erzeugung eines Wahrnehmungseindrucks, wird nun in diesem Kapitel kurz vorgestellt.

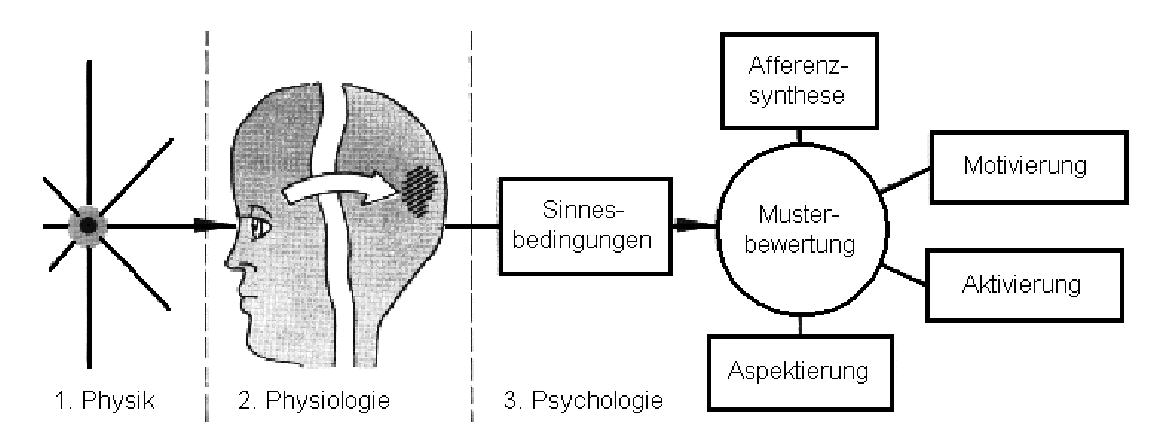



**Abbildung 9-1: Verlauf der Wahrnehmung [Ben 96]**

## *9.1 Wahrnehmungsorganisation*

Drei Organisationsprinzipien sind an der Gestaltung des Wahrnehmungseindrucks hauptsächlich beteiligt.

Die Spezifität vermittelt uns einen Gesamteindruck aller Reize der Umwelt, die wir mit unseren Sinnen wahrnehmen (vgl. Tabelle 2). Durch die verschiedenen Sinnesorgane werden zu einem optischen Reiz meist auch akustische, taktile und andere Reize an unser Nervensystem weitergeleitet. All diese Informationen, ungefähr $10^{11}$ bit/sec, werden gefiltert und nur rund 16 Byte/sec werden bewußt wahrgenommen (siehe Kapitel 10).

Die Lokalisation ermöglicht uns eine Umweltorientierung. Ständig werden die eigene Position und die Position anderer Objekte wahrgenommen. Diese Orientierung während der Eigenbewegung heißt Lokomotion.

Das dritte Prinzip ist die Mustererkennung (biokybernetischer Begriff: Transduktion). Mit der Wiedererkennung des Wahrgenommenen ist eine Bedeutungsfindung erst möglich. Dabei legt man sich auf eine subjektive Vorstellung fest. Ein Beispiel ist das sogenannte Wechselbild. Je nach Vorstellung sieht man z. B. eine Vase oder zwei Konturen von Gesichtern. Diese im Leben oft unbewußte Entscheidung wird durch Erfahrung, Motivation und psychischen Zustand der Person beeinflußt. Zu beachten ist, daß die Erfahrung auch von den sozialen Verhältnissen und in großem Maße von der Zugehörigkeit zu bestimmten Kulturkreisen abhängig ist.

## *9.2 Wahrnehmungsgesetze*

Die Wahrnehmungspsychologie hat einige wichtige Gesetzmäßigkeiten hervorgebracht, die für die Gestaltung grafischer Oberflächen sehr wichtig sind. Diese Gesetze beschreiben wichtige Mechanismen der menschlichen Wahrnehmung, die unbewußt ablaufen, die Reizinformationen reduzieren und deren Auswertung steuern. Vier der wichtigsten Gesetze möchte ich kurz erläutern.

### 9.2.1 Kontrast

Helligkeits- und Farbwerte sind nicht absolut, sondern ändern sich in Abhängigkeit von den äußeren Bedingungen. Die Beurteilung von Grafiken auf dem Bildschirm kann durch starke Unterschiede in der Helligkeitsverteilung beeinträchtigt sein. Farbmuster wirken z. B. kontrastreicher, wenn die Umgebungslinien der Muster hervorgehoben werden. Die Farben wirken dann dunkler und kräftiger ob-

wohl die Farbsättigung sich nicht geändert hat. Man spricht dann vom Bezold-Effekt [Ben 96]. Die verschiedenen Ausprägungen des Kontrasts (Rand-, Flächen-, Helligkeits-, Farbkontrast) bewirken eine Genauigkeitsverbesserung des Seheindrucks.

### 9.2.2 Schwellen

Neben der Absolutschwelle (siehe Tabelle 3) gibt es noch die sogenannte Unterschiedsschwelle.
Die erlebte Intensität eines Reizes wächst proportional zum Logarithmus, der Basis 2, des physikalischen Reizes. D. h. um bei vier brennenden Kerzen eine neue Helligkeitsstufe wahrzunehmen, müssen vier weitere Kerzen entzündet werden ($2^2$ auf $2^3$). Bei einer Kerze genügt es, eine weitere zu entzünden ($2^0$ auf $2^1$).

### 9.2.3 Figur und Grund

Die Informationsmenge, die aus der visuellen Wahrnehmung auf uns einströmt, ist sehr groß. Meist bekommen wir zusätzlich akustische Reize, die unseren Seheindruck ergänzen. Deshalb muß durch bewußte und unbewußte Hervorhebung eine Auswahl getroffen werden. Kleinere Formen werden von unserer Wahrnehmung einer Figur, der Rest wird dem Hintergrund zugeordnet (Abbildung 17(a)). Bei dieser unbewußten Zuordnung fließen auch Kontextinformationen, Abgrenzungen sowie Gestaltgesetze mit ein.

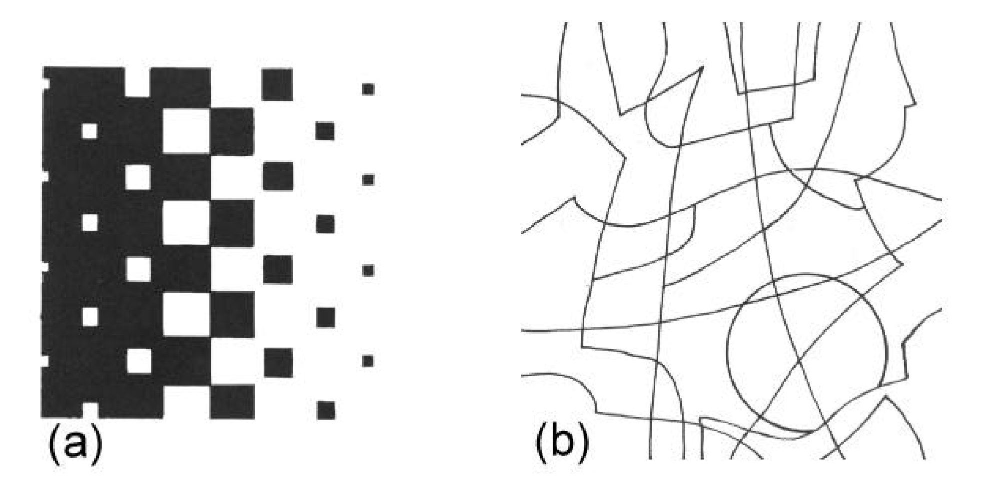



**Abbildung 9-2: Figur und Grund (a), Prägnanz (b)**

### 9.2.4 Prägnanz

Dieser Mechanismus hebt einfache Figuren, z. B. Kreise oder Rechtecke, prägnant aus der Umgebung heraus (Abbildung 17(b)). Ein weiterer Effekt, die Prägnanztendenz, „verbessert" diese prägnanten Figuren zusätzlich. Der Kreis in der Abbildung wird unwillkürlich vervollständigt.

### 9.2.5 Konstanz

Bei Bewegungen in natürlicher Umgebung ändern sich ständig Helligkeit, Größe, Ort, Gestalt und Färbung von Objekten. Der Konstanzmechanismus unterdrückt eine ständige Veränderung des Seherlebnisses. Er trägt damit wesentlich zur Informationsreduktion bei. Die Orientierung wird dadurch erleichtert, denn man muß nicht ständig alles neu erkennen (vgl. Lokomotion in Kapitel 9.1).

## *9.3 Wahrnehmungssemantik*

Die Wahrnehmungssemantik ermittelt, wie dem Gesehenen Bedeutung zugeordnet wird. Hier kommt besonders zum Ausdruck, daß die Wahrnehmung ein schöpferischer Akt ist und nicht nur Reproduktion externer Reize, erst recht kein objektives Abbild der Umwelt liefert [Ben 96]. Es zeigt sich, daß der Mensch in der Lage ist, in Abhängigkeit des momentanen psychischen und physischen Zustandes aus bloßen Mustern bedeutungsvolle Wahrnehmungsobjekte entstehen zu lassen. Um die Eigenbeteiligung

des Wahrnehmenden mit einzubeziehen, um auf den zusätzlichen Anteil einer Sinneserkenntnis hinzuweisen, benutzt man den Begriff der Apperzeption (etwas dazu erfassen).

### 9.3.1 Afferenzsynthese

Durch Bedeutungsstiftung reichert der Mensch das Wahrgenommene an, in dem Maße, daß auf Teile der Information verzichtet werden kann. Bei bekannten Objekten reicht ein Ausschnitt davon, um das Objekt wiederzuerkennen. Das Gesamtbild wird dann im Zusammenspiel von Form und Farbe „synthetisiert“. Eine weitere Synthese ist die Trägheit der Musterbildung. Ein bekanntes Beispiel ist das Daumenkino. Die fehlenden Bewegungsabläufe zwischen zwei Bildern werden beim „abspielen“ synthetisiert und ergeben einen flüssigen Bewegungsablauf (Stroboskopeffekt).

### 9.3.2 Motivierung

In verschiedenen Versuchen der Wahrnehmungspsychologie wurde die Abhängigkeit der Apperzeption vom psychischen Zustand des Probanden untersucht. Dabei wurde festgestellt, daß gewisse Eingriffsmomente starke Einwirkungen auf die Bedeutungsfindung haben. Dazu zählen persönliche Suggestibilität[5], Rigidität[6] und Umgebungsabhängigkeit, soziale Komponenten, wie Momentaninteresse und Mißerfolge, sowie soziale Komponenten z. B. Gruppenurteile.

### 9.3.3 Aktivierung

Bei der Bedeutungsfindung eines Seherlebnisses spielt die Bedeutung des gerade zuvor Erlebten eine wichtige Rolle. Der vorige Eindruck bedingt eine gewisse Erwartungshaltung auf den nächsten Seheindruck. Experimentell ist bewiesen, daß das Erkennen von unbekannten Mustern und Objekten erleichtert wird, wenn ein Vorreiz diese Muster bzw. Objekte erwarten läßt. Diese Voraktivierung kann in die nächste Bedeutung mit hineininterpretiert werden. Voraussetzung ist dabei immer eine aktive Aufmerksamkeit auf das zu Erkennende. Ist der Aufmerksamkeitskegel nicht darauf ausgerichtet, erlangt das Gesehene keine Bewußtseinsqualität und wird momentan nicht aktiv zur Auswertung des nächsten Seheindrucks benutzt.

Das Phänomen der Aktivierung ist teilweise nicht rational zu erklären. Ein Versuch mit Umkehrbrillen (eine Prismenbrille vertauscht den Strahlengang horizontal) zeigte, daß bei Eigenaktivierung durch Bewegung das auf dem Kopf stehende Bild kurzfristig vom Wahrnehmungsapparat in die richtige Lage gekippt wurde. Vermutlich bedingt eine physische Aktivierung auch eine psychische Aktivierung, d. h. eine Leistungssteigerung der mentalen Fähigkeiten des Menschen. Diese Annahme stützt die Behauptung in dem bekannten Ausspruch des römischen Satirikers Juvenal: „mens sana in corpore sano“ - In einem gesunden Körper wohnt auch ein gesunder Geist.

[5] **Suggestibilität: geistig-seelische Beeinflussung eines Menschen**

[6] **Rigidität: starres Festhalten an früheren Einstellungen, Gewohnheiten**

# 10 Wissensrepräsentation

Ich möchte nun einige wichtige Aspekte der Wissensrepräsentation ansprechen, die Einfluß auf die Gestaltung von grafischen Benutzerschnittstellen haben. Dabei werden Erkenntnisse der wahrnehmungsbasierten und bedeutungsbezogenen Wissensrepräsentation betrachtet.
Die weitere Informationsverarbeitung hängt stark von der Art der Repräsentation der Information im Gehirn ab. Teilweise bleibt viel von der Struktur des Wahrgenommenen erhalten – wahrnehmungsbasierte Wissensrepräsentation. Im anderen Fall wird hauptsächlich der Bedeutungsgehalt des Gesehenen im Gedächtnis enkodiert[7].

## *10.1 Gedächtnis und Repräsentation von Informationen*

Seit den 50er Jahren gibt es das allgemein akzeptierte Mehr-Speicher-Modell (auch Mehr-Speicher-Konzeption, Drei-Stufen-Theorie) des Gedächtnisses. Dieses Modell unterscheidet drei Erscheinungsformen des Gedächtnisses, die über zwischenliegende Kontrollstellen, ähnlich einem Filter, miteinander verkettet sind. Erster Speicher ist das Ultrakurzzeitgedächtnis (UKZ) auch als Sensorisches Gedächtnis (SG) bezeichnet. Die Reizinformationen, deren elektrische Ströme und Schwingungen im Gehirn als Aktivitätsmuster präsent sind, können hier fast vollständig für eine sehr kurze Zeit gespeichert werden (siehe Abbildung 10-1). Die Dauer der Speicherung im sensorischen Gedächtnis beträgt ca. 1 bis 2 Sekunden für visuelle Merkmale, danach zerfallen die Informationen automatisch. Die Zerfallszeit muß so kurz sein, damit die Aufnahme nachfolgender Informationen nicht blockiert wird [Bra 89]. Nach dieser Zeit bleibt nur das übrig, worauf die Aufmerksamkeit gelenkt wurde.
Man unterscheidet ein visuell sensorisches und ein echotisch sensorisches Ultrakurzzeitgedächtnis. Das visuell sensorische UKZ kann die Information einer visuellen Reizvorlage in einem sogenannten Icon speichern [Nei 67]. Durch den Prozeß der Aufmerksamkeit können wir die Information des Icons auslesen und weiterverarbeiten. Wird dieser Information keine Aufmerksamkeit geschenkt, geht sie unwiederbringlich verloren. Die Aufmerksamkeit arbeitet hier als Filterfunktion bzw. Kontrollprozeß für das Kurzzeitgedächtnis, der bestimmt, ob Informationen vom Sensorischen Gedächtnis in das Kurzzeitgedächtnis übertragen werden. Bezogen auf das Modell von Träger-Muster-Bedeutung sind die Icons Muster, deren Träger, die Engramme, sich resonativ längere Zeit auf einem erhöhten Aktivitätsstatus halten. Die Summe aller Icons, die sich in diesem stabilen Zustand befinden, entsprechen dem Kurzzeitgedächtnis. Es wird auch als aktive Form des Langzeitgedächtnisses bezeichnet, da hier Vorgänge wie das Lernen, das Denken und das Erinnern ablaufen. Nach diesem Modell kann die Repräsentation der Icons bildhafter, räumlicher und linearer Natur sein, immer entsprechend der Reizvorlage.

[7] **Enkodieren (in der Kognitionswissenschaft): einprägen, tlw. in der Literatur im Zusammenhang mit dem Begriff des Lernens benutzt**

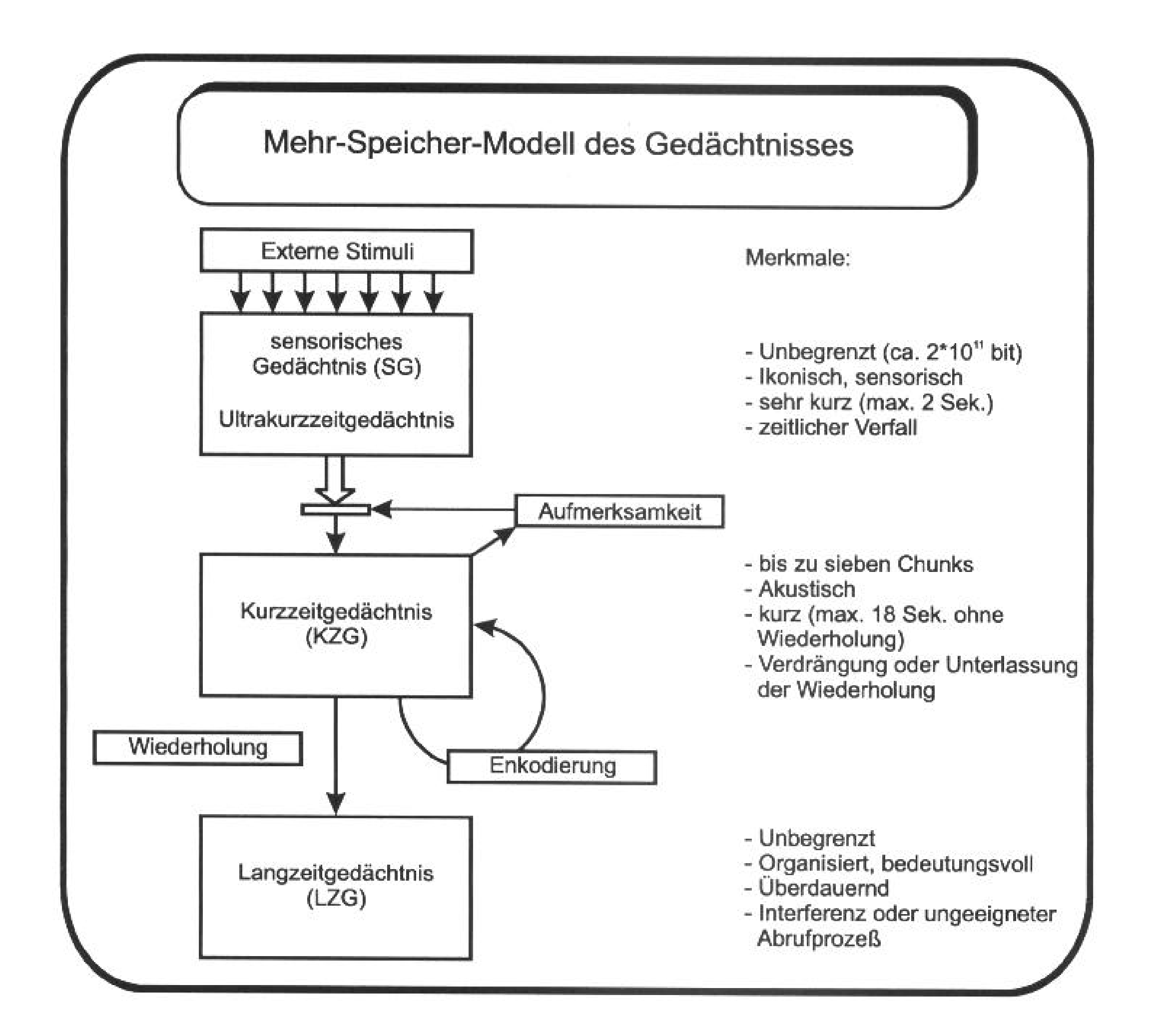



**Abbildung 10-1: Mehr-Speicher-Modell des Gedächtnisses [Reu 97]**

Die dauernde elektrische Aktivierung der Neuronen, im Status des Kurzzeitgedächtnisses, bedingt eine gesteigerte Proteinsynthese. Dieser Vorgang wird auch als Memorieren bezeichnet. Ist die Proteinsynthese abgeschlossen (Dauer ca. 20 min), dann ist das Icon permanent als Struktur im Langzeitgedächtnis verankert. Dabei entspricht die Struktur des Langzeitgedächtnisses dem des Kurzzeitgedächtnisses, nur befinden sich die Informationen des Langzeitgedächtnisses in einem inaktiven Zustand [Reu 97].

## 10.2 Wahrnehmungsbasierte Wissensrepräsentation

Im Kapitel 8.1 „Wahrnehmung von Mustern, Tiefe und Oberfläche„ wurde bereits erläutert, wie visuelle Informationen im Prozeß der Wahrnehmung repräsentiert werden. Ein visueller Reiz wird durch ein spezifisches Aktivationsmuster der Photorezeptoren repräsentiert, wobei die Zellen unterschiedliche Merkmale enkodieren. Die Art und Weise der Repräsentation für die weitere Informationsverarbeitung nennt man mentale Bilder oder allgemein mentale Vorstellungen. Diese Repräsentation des Gesehenen in unserem Gedächtnis beinhaltet nicht nur visuelle, sondern auch räumliche Informationen. Das beweisen Experimente zur mentalen Rotation von räumlichen Figuren [And 96]. Aus Experimenten zum Absuchen mentaler Bilder ist bekannt, daß zum Absuchen des Bildes nach zwei Objekten die Zeit proportional dem Abstand der beiden Objekte im Bild ist. Wie diese Untersuchungen zeigen, verlaufen Operationen an mentalen Bildern analog zu Operationen an realen Objekten. Um komplexe mentale Bilder aus Einzelteilen zusammenzusetzen, reicht die Kapazität des Kurzzeitgedächtnisses mit ca. sieben Iconen nicht aus. Der Trick zur Überwindung dieses Engpasses besteht darin, aus Einzelinformationen größere Einheiten oder sogenannte Chunks zu bilden [Bra 89].

### 10.2.1 Auswirkungen des Chunkings

Chunks sind eine Einheit der Wissensrepräsentation und werden aus einer gewissen Anzahl primitiver Einheiten (Propositionen) zusammengesetzt, bilden aber gleichzeitig die Basiseinheiten komplexerer Gebilde. Sie bilden eine Form der hierarchischen Struktur mentaler Vorstellung. Chunks dienen zur Erhöhung der Kapazität des Kurzzeitgedächtnisses, indem mehrere artverwandte oder bedeutungsverwandte Gedächtnisinhalte zu einem übergeordneten, bedeutungshaltigen Chunk zusammengefügt werden. Dabei können als Ausgangsinformation wieder Chunks vorliegen. Es zeigt sich, daß ungefähr 7 Chunks gleichzeitig verarbeitet werden können.
Um Objekte in grafischen Abbildungen wiederzufinden, wird die Abbildung meist in Teilbereiche zerlegt. Diese Teilbereiche werden dann hierarchisch organisiert, und die Objekte werden den Teilbereichen zugeordnet. Bei der Beurteilung der Lage einzelner Objekte wird dann die Lage des übergeordneten Teilgebietes herangezogen. Vorteil dieser Organisationsform ist eine erhebliche Erweiterung der Gedächtniskapazität, eine geringere Belastung der Verarbeitungsressourcen sowie eine beschleunigte Aufnahme und Wiedergabe der Information.
Mit Hilfe einer gut strukturierten und hierarchisch organisierten grafischen Benutzerschnittstelle kann man direkt Einfluß auf diesen Organisationsprozeß nehmen. Durch die aktive Vorstrukturierung wird der Benutzer bei seiner mentalen Modellbildung unterstützt, um einen möglichst großen Nutzen aus den bereits erwähnten Vorteilen zu ziehen (siehe z. B. Kapitel 13.2.2).

## *10.3 Bedeutungsbezogene Wissensrepräsentation*

Der Mensch besitzt die Fähigkeit, den Bedeutungsgehalt eines bestimmten Ereignisses (einer Reizvorlage) zu speichern. Dem Eindruck wird seine Bedeutung extrahiert. Die wahrnehmungsbezogenen Informationen, die anfangs gespeichert werden, gehen nach kurzer Zeit als unwesentliche Details verloren. Die Erinnerung an die Inhalte bleibt erhalten. Bei grafischen Vorlagen merken wir uns dementsprechend eine Interpretation der Bedeutung des Bildes.
Ich möchte das kurz an dem Beispiel eines Klassenzimmers erläutern. Bedeutungsvolle Objekte sind vor allem die Tafel, der Lehrer und die Schüler. Weniger bedeutungsvoll ist dabei die Kleidung der Personen. So ist es wahrscheinlich, daß man sich aus der Abbildung an der Tafel die Art des Unterrichts merkt, weniger die exakte Abbildung auf der Tafel. Nach längerer Zeit wird auch die Information über Farbe und Form der Kleidung in unserem Gedächtnis verblassen, nicht jedoch die Erinnerung an die anwesenden Personen.
Die Abstraktion beinhaltet die Löschung vieler sensorischer Details und die Speicherung der wichtigen Beziehungen zwischen den Inhaltselementen. Im Kontext der Ikonisierung entspricht das einer effektiven Repräsentation der Bildinformation im Gedächtnis. Der Inhalt und die Struktur der Icons werden möglichst einfach gehalten. Wir sind in der Lage, Typeigenschaften, die die Bildbedeutung ausmachen, besser und länger im Gedächtis zu repräsentieren, als Merkmalseigenschaften von Objekten die für die Interpretation von geringerer Relevanz sind.
Das bedeutungsbezogene Erinnerungsvermögen kann man sich zunutze machen, indem wenig bedeutende Information in bedeutungshaltige Information eingebettet wird.

### 10.3.1 Repräsentation konzeptuellen Wissens

Eine weitere Art der Abstraktion ist die Extraktion von Merkmalen mit Zuordnung zu bekannten Erfahrungsklassen. Die Abstraktion von Wissen durch Wegfall von spezifischen Erfahrungen und statt dessen die Kategorisierung durch Merkmale und Kennzeichen einer allgemeinen Erfahrungsklasse wird als konzeptuelles Wissen bezeichnet. Als Modelle zur Erklärung der Repräsentation dienen Schemata und Skripte.
Ein Schema repräsentiert kategoriales Wissen in Form einer Struktur von Leerstellen (Slots). In die Slots werden die Ausprägungen der einzelnen Attribute des Konzeptes eingesetzt, dabei repräsentieren die Slots nur die Default-Werte, also die für dieses Konzept typischen Attribute. Menschen gehen davon aus, daß ein Objekt die Default-Werte seiner Objektklasse besitzt, solange nicht etwas anderes festgestellt wird. Ein besonderer Slot ist der Oberbegriff-Slot, er gibt die übergeordnete Kategorie des Konzeptes an (Haus→ Gebäude). Es handelt sich dabei um eine Generalisierungshierarchie. Eine andere Hierarchie ist die Teil-Ganzes-Hierarchie (Zimmer→ Teil eines Hauses). Die Teile besitzen wieder eigene Schemadefinitionen, die das Ableiten von Beziehungen ermöglichen.

Schema: Haus

- *Oberbegriff:* Gebäude
- *Teile:* Zimmer
- *Material:* Holz, Stein
- *Funktion:* Wohnraum
- *Form:* rechteckig

Zusätzlich kann eine Zeitkomponente in das Modell eingefügt werden, um Ereigniskonzepte darzustellen. Man spricht dann von Skripten. Skripte repräsentieren eine logische aber auch erfahrungsorientierte Handlungskette (z. B. das Betreten eines Hauses). Wenn die Voraussetzungen für den Einsatz eines Skripts zutreffen, benutzen wir die Handlungskette, um Ereignisabläufe zu evaluieren und um Schlußfolgerungen auf eintreffende Ereignisse zu ziehen. Skripte enthalten bevorzugte Abfolgen von Teilereignissen in bestimmten Situationen (Gewohnheiten). Sie geben uns zusätzlich die Möglichkeit, fehlende Informationen zu ergänzen.

# 11 Die grafische Benutzerschnittstelle

In den Kapiteln 1 bis 6 wurden, mit der Betonung auf wahrnehmungsgestützte Prozesse, wichtige kognitionswissenschaftliche Theorien und Modelle erläutert. Im nun folgenden Teil werden die Umsetzung dieser Erkenntnisse und die praktischen Auswirkungen auf grafische Benutzerschnittstellen genauer untersucht.

## 11.1 Motivation

Während früher die Bedienung von Computern typische Aufgabe für Spezialisten war, ist sie heute in fast allen Bereichen des täglichen Lebens verbreitet. Am Arbeitsplatz, in der Lehre, im Haushalt und in der Freizeit begegnen uns Computer auf verschiedenste Art und Weise. Computer sind Kommunikationsmittel durch E-Mail, Videokonferenzen und das World Wide Web, durch grafische Visualisierungen und Simulationen bieten sie sichere wissenschaftliche Experimente und Trainingsmodelle für gefährliche oder umweltschädliche Versuche. Durch Computer haben wir in kurzer Zeit Zugriff auf Datenbanken und Reservierungssysteme auf der ganzen Welt. Die Bereiche Kunst, Musik, Sport und Unterhaltung werden durch Computersysteme unterstützt und erweitert.
Den größten Einfluß auf die Durchsetzung der Computer im alltäglichen Leben hatte dabei die grafische Benutzerschnittstelle (engl. Graphical User Interface, Abk.: GUI). Mußte dem Benutzer früher noch ein gewisser Umfang an Befehlen zur Verfügung stehen, um den Computer zu bedienen, so ist es mit den heutigen Oberflächen möglich, die gleichen Aktionen über grafische Manipulation von Objekten durchzuführen. Die gewachsenen technischen Möglichkeiten, gerade die Entwicklung der Computergrafik (2D und 3D), haben viele neue Bedienungsformen erst möglich gemacht. So führte der technische Fortschritt nicht automatisch zu besseren Arbeitsbedingungen, aber durch die neuen Technologien eröffneten sich neue Gestaltungsspielräume, die jetzt wirkungsvoll genutzt werden müssen.
Leider gibt es immer noch sehr viele Beispiele für schlechte Software mit unverständlicher Terminologie in der Textdarstellung und schlechter bis chaotischer Bildschirmgestaltung, die den Benutzer verunsichert, Fehler provoziert, oft zur Frustration und zur Ablehnung des Produkts führt.
Jede Maschine und jedes Gerät besitzt eine Bedienoberfläche, die den Zugang zur Funktionalität ermöglicht. Benutzerschnittstellen, bei der Gestaltung von Gebrauchsgegenständen, wurden schon seit vielen Jahren untersucht und die Ergebnisse der Forschung erfolgreich in der Produktgestaltung umgesetzt. Sehr früh hatte man erkannt, daß eine menschengerechte Bedienung ein wichtiger Verkaufsfaktor ist. Diese Tatsache wird allerdings bis heute bei Softwareprodukten oft vernachlässigt, teilweise ignoriert.
Allein eine gute Funktionalität macht noch keine gute Software!
Der Benutzer muß die Handhabung der Software auch schnell erlernen und effektiv damit umgehen können. Nur so kann sich das Produkt im Arbeitsprozeß bewähren und sich, im wirtschaftlichen Sinne, Marktvorteile gegenüber anderen Konkurrenzprodukten verschaffen.

## 11.2 Gründe und Ziele der GUI-Gestaltung

Das allgemeinste Ziel, die Lebensqualität durch eine Humanisierung der Arbeit[8] zu verbessern, läßt sich für die Gestaltung von Softwaresystemen durch eine Reihe von Teilzielen spezifizieren. Das betrifft die geforderte Performance, die geringe Einarbeitungszeit, die Anforderungen zur Bedienung sowie das Bestreben nach einheitlichen Standards innerhalb des Systems und auch nach außen, durch die standardisierte Gestaltung der Benutzungsoberfläche und anderen Bedienungsmitteln. Die funktionalen Ziele können mit Hilfe der Benutzeranforderungen und des fachlichen Umfeldes in Erfahrung gebracht werden, jedoch ist die zusätzliche Funktionalität für notwendige Sicherheitsmaßnahmen, der Ausnahme- und Fehlerbehandlung schwieriger zu erkennen. Ist die Funktionalität nicht entsprechend den Benutzerwünschen, dann nützt auch eine gute Benutzerschnittstelle nichts mehr – das Softwareprodukt wird vom Auftraggeber bzw. Endbenutzer abgelehnt (siehe Tabelle 10)! Die Tendenz zu einer immer breiteren Funktionalität in den Anwendungsprogrammen führt leider dazu, daß große Teile heutiger Software weitgehend ungenutzt bleiben. Das Ziel zukünftiger Softwareentwicklungen muß daher sein, dem Benutzer die Leistung von Hard- und Software bestmöglich verfügbar und nutzbar zu machen.

[8] **Bundesregierung 1983: Planung für die Weiterentwicklung des Programms „Humanisierung des Arbeitslebens“. Deutscher Bundestag, Drucksache 10/16 vom 6.4.1983**

### 11.2.1 Information und menschliche Aufmerksamkeit

Der Computer ist in der Lage, beliebige Mengen an Information zu erzeugen. Große Netze, wie z. B. das Internet, können problemlos zur Verteilung großer Informationsmengen benutzt werden (Mailverteiler, WWW-Server). Der Benutzer am Computer kann lediglich einen Bruchteil dieser Information in einer bestimmten Zeit sinnvoll verarbeiten. Der Engpaß ist hierbei die menschliche Aufmerksamkeit.
Wir benötigen daher adäquate Werkzeuge, die uns helfen, Informationen zielgerichtet zu finden, zusammenzufassen und mit den zugehörigen Präsentationsprogrammen darzustellen und das alles auf eine Weise, die an die menschliche Wahrnehmung und Informationsverarbeitung angepaßt ist. Für den Benutzer von Software ist es dabei wichtig, daß der Konzentrationsaufwand bei der Bedienung möglichst gering ist, damit er seine Aufmerksamkeit auf die Arbeitsaufgabe richten kann.

### 11.2.2 Risikofaktor „Mensch“

Menschliches Versagen ist häufig Ursache schwerer Unfälle (Beispiele siehe [Reu 97] und [Züh 96]). Störfälle in Kernkraftwerken, Flugzeugabstürze oder Eisenbahnunfälle – immer wieder steht der Mensch als unkalkulierbarer Risikofaktor im Vordergrund. Doch oft stellt sich nach eingehender Analyse heraus, daß dieses menschliche Versagen auf ein Versagen der Mensch-Maschine-Schnittstelle zurückzuführen ist. Moderne Industrieanlagen, Flugzeuge, Schiffe und Schienenfahrzeuge werden heute zum überwiegenden Teil elektronisch mit Computersystemen und Bildschirmdarstellungen gesteuert. Die Komplexität der technischen Anlagen und der Steuerungsmittel steigt ständig. Konkurrenzdruck und schnellere technologische Entwicklungszyklen bewirken ständige Änderungen an den Anlagen und damit ständig neue Anforderungen an das Personal, das diese Technik bedient und steuert. Ausfälle bzw. Störfälle wirken sich stark auf Kosten und Wirtschaftlichkeit der technischen Systeme aus. Damit steigen Anforderung und Leistungsdruck für das Bedienungspersonal. Eine Analyse der menschlichen Handlungsweisen und eine an den Benutzer angepaßte Mensch-Maschine-Schnittstelle sind unabdingbar. Dabei ist die Mensch-Maschine-Schnittstelle umfassend zu sehen, sie betrifft sowohl die Hard- und Software, alle Steuer- und Kontrollelemente sowie die gesamte Arbeitsplatzgestaltung und –organisation.
Ziel der Gestaltung der Anzeigenelemente (auf Bildschirmen und Anzeigetafeln) ist, dafür zu sorgen, daß die Informationen richtig und eindeutig wahrgenommen werden können, damit ein Verwechseln und Übersehen mit höchster Wahrscheinlichkeit auszuschließen ist. Ein möglichst geringer Zeitanteil soll für die Informationsaufnahme, ein Großteil für die Entscheidungsfindung verwendet werden. Eine gute Benutzerschnittstelle sollte, ja muß, in der Lage sein, optional Informationen zur Entscheidungsfindung geben zu können.

### 11.2.3 Paradigmen der Mensch-Maschine-Schnittstelle

Eine gut gestaltete Bedienoberfläche sollte vier Paradigmen der Mensch-Maschine-Schnittstelle erfüllen, nach [Lan 94]:

1. Recognition is easier then recall.
2. WYSIWYG (What you see is what you get).
3. Making the invisible visible.
4. Do what I mean not what I say.

In der folgenden Erörterung wird gezeigt, welch große Rolle hierbei kognitionswissenschaftliche Aspekte und Erkenntnisse der Psychologie spielen.

#### *11.2.3.1 Recognition is easier then recall*

Der Einsatz hochauflösender Grafiken (z. B. für Symbole oder Icons) ermöglicht eine realitätsgetreue Abbildung von Objekten, so daß eine schnelle und richtige Wiedererkennung unterstüzt wird. Zusätzlich bietet die Wiedererkennung einen einfachen Zugang zu bekannten Informationen im Gedächtnis und wirkt sich positiv auf die Lernfähigkeit des Benutzers aus, z. B. für die Bildung neuer Chunks und die Erweiterung bestehender mentaler Modelle (siehe Kapitel 10). Das Wiedererkennen von Inhalten oder Handlungstätigkeiten - als die Aktivierung eines Schemas - schafft dabei einen Deutungsrahmen, durch den neue Information in angemessener Weise verstanden und interpretiert werden kann. Ein Schema zu aktivieren, auf dessen Hintergrund die Information eingeordnet und verarbeitet werden kann, bedeutet daher, neue Situationen zu verstehen (siehe [Bra 89] „Vernetzung mit Vorwissen“). Wiedererkennung ist somit eine wichtige Voraussetzung für Benutzer, damit sie im Umgang mit neuer Software nicht scheitern oder unnötig lange Einarbeitungszeiten benötigen.

#### 11.2.3.2 WYSIWYG (What you see is what you get)

Hier wird die getreue Darstellung von realen Objekten auf dem Bildschirm gefordert. Das Ziel in Bezug auf die technische Anwendungen ist, daß die grafische Repräsentation dem Benutzer eine genaue Wiedergabe der Funktion und des Zustands des Weltobjekts vermittelt und was durch Manipulation dieses Objekts verändert werden kann. Die Informationen bzgl. des Objekts werden um so leichter vom Menschen verarbeitet und gespeichert, je konkreter sie bei der Informationsaufnahme repräsentiert sind. Dabei gilt die Regel: Physisch repräsentierte Gegenstände werden am leichtesten, Abbilder von ihnen weniger leicht und durch Namen repräsentierte Objekte am schlechtesten erkannt.

#### 11.2.3.3 Making the invisible visible

Umfangreiche rechentechnische und grafische Systemleistung heutiger Computer ermöglicht die Darstellung von Abläufen und Zusammenhängen, die im realen System für den Menschen oft nicht sichtbar bzw. nicht wahrnehmbar ablaufen. Diese Möglichkeiten können, richtig genutzt, ein wichtiger Beitrag zur mentalen Modellbildung sein. Dabei ist auf eine korrekte, d. h konsistente, fehlerfreie Modellpräsentation zu achten. Wenn sich der Benutzer ein falsches mentales Modell erarbeitet, ist dieses um so schwerer wieder zu korrigieren!

#### 11.2.3.4 Do what I mean not what I say

Heutige Computer erlauben, freie Hardware-Kapazitäten für neue Möglichkeiten in der Gestaltung von Mensch-Maschine-Kommunikationsschnittstellen zu nutzen. Benutzerassistenten und adaptive Benutzerschnittstellen führen den Benutzer durch die Applikation, prüfen die Benutzereingaben auf Plausibilität und unterstützen den Benutzer bei Fehlersituationen.

### 11.2.4 Software-Ergonomie

Oft spricht man im Zusammenhang mit der Gestaltung der Mensch-Maschine-Kommunikation, respektive der Mensch-Computer-Kommunikation, von Hardware-Ergonomie und speziell bei der Benutzeroberfläche von Software-Ergonomie und meint in beiden Fällen die Anpassung des technischen Systems an die menschliche Arbeitsweise. Nach Definition ist das Ziel der Software-Ergonomie die Anpassung der Eigenschaften eines Dialogsystems an die Eigenschaften der damit arbeitenden Menschen unter Verwendung wissenschaftlicher Erkenntnisse. Dabei sollen Arbeitsaufgaben, Arbeitsumgebungen und Produkte an die physischen und mentalen Fähigkeiten und Grenzen des Menschen angepaßt werden, um Gesundheit, Sicherheit Wohlbefinden und Leistungsvermögen zu verbessern [Sch 98].
Wichtige Erkenntnisse der menschlichen Informationsverarbeitung, z. B. Wahrnehmung, Verarbeitung und Organisation des Gedächtnisses und Metaphern sowie allgemeine psychologische und arbeitspsychologische Erkenntnisse, bezüglich Aufgabenangemessenheit und Arbeitsweise, müssen in die Entwicklung der grafischen Benutzerschnittstelle Eingang finden.
Kriterien, die bei der Entwicklung der Benutzerschnittstelle beachtet werden müssen, sind Aufgabenangemessenheit, Selbstbeschreibungsfähigkeit, Erwartungskonformität, Steuerbarkeit und Fehlerrobustheit. Sie werden in den folgenden Kapiteln genauer erläutert, so daß an dieser Stelle nur eine Kurzübersicht zur Begriffsbestimmung folgt [Züh 96]:

- Aufgabenangemessenheit:
  Der Bediener wird bei der Erledigung seiner Arbeitsaufgaben unterstützt, ohne ihn durch die Eigenschaften des Bediensystems zu belasten.
- Selbstbeschreibungsfähigkeit:
  Jeder Dialog mit dem Bediensystem ist unmittelbar verständlich oder zu jedem Dialogschritt können entsprechende Erläuterungen (kontextsensitiv) angefordert werden.
- Erwartungskonformität:
  Der Dialog entspricht den Erfahrungen des Bedieners, seinen Kenntnissen bisheriger Arbeitsabläufe, aus dem bisherigen Umgang mit dem System (konsistentes Dialogverhalten).
- Steuerbarkeit:
  Die Geschwindigkeit der Abfolge von geforderten Eingaben seitens des Bedieners kann von ihm selbst bestimmt werden. Die Auswahl und Reihenfolge von Arbeitsmitteln sind vom Bediener beeinflußbar.

- Fehlerrobustheit:
  Fehlerhafte Eingaben müssen dem Bediener verständlich gemacht werden und dürfen nicht zu undefinierten Systemzuständen führen.

### 11.2.5 Kognitive Lernziele und Aspekte der Arbeitspsychologie

Unbestritten ist, daß die Bedienung eines Computerprogramms von jedem Benutzer erst einmal erlernt werden muß. Dabei sind die mentalen und intellektuellen Voraussetzungen der Benutzer natürlich sehr unterschiedlich. Das betrifft sowohl den Wissensstand, die mentale Leistungsfähigkeit der Personen und ihre emotionale Einstellung zum Computer oder der anstehenden Aufgabe. Das Ziel der Erlernbarkeit legt die Betonung auf den Erwerb von Kenntnissen, die Reproduktion von Wissen und allgemein die Erweiterung intellektueller Fähigkeiten und Fertigkeiten (siehe Tabelle 4).

| Erwerb von Kenntnissen | Erweiterung von Fähigkeiten, Fertigkeiten |
|---|---|
| Begriffe<br>Verfahren und Hilfsmittel<br>Prinzipien und Theorien | Verstehen<br>Anwenden<br>Analysieren<br>Synthetisieren<br>Evaluieren |

**Tabelle 4: Kognitive Lernziele, nach [Sie 96]**

Um den Benutzer den Einstieg in die Bedienung der Software zu erleichtern, haben die meisten Programme eine Hilfefunktion. Diese Hilfefunktion sollte verschiedene Ebenen für Hilfe und Ratschläge besitzen, die von Basisinformationen für Einsteiger bis zu einer kompletten Beschreibung aller Funktionen und Möglichkeiten des Systems reichen. Die Hilfeinformationen müssen gut strukturiert und in einem vernünftigen Umfang präsentiert werden, damit der Benutzer nicht überfordert wird. Zusätzliche motivierende Momente lassen sich durch Multimediaunterstützung integrieren (Musik, Sprachausgabe, Animationen, Video). Gerade intellektuelle Fähigkeiten lassen sich gut unter Zuhilfenahme verschiedenster Medien veranschaulichen und vermitteln. Für komplexe Softwaresysteme bieten sich spezielle Tutorsysteme an, die den Benutzer in den Umgang mit dem Programm einführen. Dem versierten Benutzer bieten sie die Möglichkeit, schwierige, komplexe Aufgaben bzw. Bedienungsabläufe zu üben und zu erlernen. Eine weitere Alternative für die Benutzerhilfe sind sogenannte „Assistenten“. Diese prüfen Aktionen und Eingaben des Benutzers auf Korrektheit und bieten bei Fehlern eine kontextabhängige Hilfe an. Alle diese Hilfemöglichkeiten müssen unterschiedliche Hilfeebenen anbieten und sollten sich für verschiedene Benutzergruppen konfigurieren lassen (siehe auch Kapitel 13.3).
Zusätzlich sollte beachtet werden, daß eine gute Strukturierung und ein passendes Layout der Dialoggestaltung (z. B. Menügestaltung, Gruppierung von Icons) wesentlich zur Erhöhung der Lernleistung beitragen (siehe Kapitel 10). Abschließend soll daher eine kurze Zusammenfassung über positive und negative Faktoren des Behaltens respektive des Lernens geben werden, in der wichtige Erkenntnisse der Psychologie und speziell der Arbeitspsychologie verankert sind (siehe Tabelle 5 und Tabelle 6).

| **Negative Faktoren** | |
|---|---|
| Affektive Hemmung | Störende emotionale Erregung (Ärger, Angst, Aggression) wirken hemmend auf die Informationsverarbeitung |
| Sättigungshemmung | Längere Beschäftigung mit gleichen oder immer wiederkehrenden Arbeitsinhalten führt zu Unlust und Übersättigung (Anregungsarmut der Situation) |
| Ähnlichkeitshemmung (Interferenz) | z. B. Tutorsysteme: bei Einarbeitung in mehrere Programmteile können sich Informationen im Gedächtnis überlagern und gegenseitig auslöschen;<br>Informationsmenge, Gestaltung und Strukturierung sowie Dauer des Lernens sind zu beachten! |

| | |
|---|---|
| Psychische Ermüdung | **Störung der Reizaufnahme: z. B. verkleinertes Gesichtsfeld, Verschiebung visueller und akustischer Schwellen; Störung der Reizverarbeitung (optische Täuschungen)** |

**Tabelle 5: Negative Einflußfaktoren auf das Lernen, nach [Rot 98] und [Sac 98]**

| **Positive Faktoren** | |
|---|---|
| Interessse | Interesse wirkt sich positiv, als gesteigerte Aufmerksamkeit aus und beschleunigt die Informationsaufnahme in das Gedächtnis |
| Emotionen | Emotionalisierte Informationen steigern ebenfalls die Aufmerksamkeit |
| Einsicht | Erlaubt sinnvolle Verknüpfung und Organisation mit bereits im Gedächtnis gespeicherten Informationen;<br>erhöhte Aufmerksamkeit und Intensität der Verarbeitung |
| Übung | Mehrfache Aktivierung des selben Musters im Gedächtnis verstärkt den Memorierungseffekt, d. h. die Übernahme in das Langzeitgedächtnis |

**Tabelle 6: Positive Einflußfaktoren auf das Lernen, nach [Rot 98] und [Sac 98]**

# 12 Elemente der Grafischen Benutzerschnittstelle

Bei Computern sind es in der Regel Programme, welche die für den Benutzer interessante Funktionalität beinhalten. Er möchte sie starten, ändern, konfigurieren, beenden usw. Dies geschieht über das User Interface des Programms. Die Aktionen des Benutzers während der Bedienung eines Programms werden in ähnlicher Art und Weise ständig wiederholt. Es sind hauptsächlich Objektselektierung, Text- bzw. Werteingabe sowie boolsche Werte (Flags) setzen. Für derartige Aktionen wurden bei der Entwicklung der ersten grafischen Benutzerschnittstellen Standardkomponenten vorgesehen.

## *12.1 Die Entwicklungsgeschichte der grafischen Benutzerschnittstelle*

Im Jahr 1963 entwickelte Ivan Sutherland das erste interaktive Grafiksystem, genannt Sketchpad, das mit einem Lichtgriffel bedient wurde. Um 1970, in den Xerox PARC Labors, wurde die erste hochauflösende, grafische Oberfläche mit Fenstern, kontextsensitiven Pop-Up-Menüs, variablen Fonts und Kursor-Bedienung programmiert. Leider fand diese Erfindung bei Xerox (Typname: Xerox Star) keinen ökonomischen Durchbruch auf dem Personal Computer Markt. Den Siegeszug der grafischen Oberfläche setzten die Entwickler der Firma Apple, mit dem Computer „Apple Lisa“ in Gang. Sein Hardware- und Softwaredesign unterstützte schnelle grafische Interaktion, Fenstermanipulation, Pull-Down-Menüs sowie Text- und Grafikeditierung. Alle Aktionen konnten mit einer Maus, als Eingabegerät, durchgeführt werden. In der weiteren Entwicklung entstanden die bekannten Apple Macintosh Computer, die gezielt auf dem Markt des Desktop-Publishing eingesetzt wurden. Grafische Benutzungsoberflächen hatten den endgültigen Durchbruch auf dem PC Massenmarkt durch den Betriebssystemzusatz Windows 3.x, dessen Weiterentwicklung zum Betriebssystem Windows95 bzw. der aktuellen Umsetzungen unter dem Namen Windows 98.
In den Bereichen CAD- und Computerspiele kommen seit einigen Jahren 3D-Modelle und Bedienoberflächen zum Einsatz. In Forschungsprojekten bemüht man sich um eine Umsetzung großer Informationsmengen in 3D-Räume und adäquate Navigations- und Interaktionsmöglichkeiten. Beispiele für Entwicklungen in diesem Bereich sind das von der Firma Xerox entwickelte „ConeTree“ System, ein dreidimensionaler Browser für Baumstrukturen. SUN Microsystem entwarf kreisförmig angeordnete 3D-Menüs (Projekt HoloSketch) und die GMD Darmstadt entwickelte „Lybertree“, ein Retrieval-System mit interaktiver dreidimensionaler Visualisierung [Hem 94]. Im Zuge der Weiterentwicklung des World Wide Web und den technischen Möglichkeiten heutiger PCs werden in zunehmendem Maße dreidimensionale Elemente in die WWW-Seiten integriert. Als Standard hat sich die Sprache VRML (Virtual Reality Modeling Language) etabliert, die es ermöglicht, 3D-Szenen zu beschreiben (siehe Kapitel 16).

## *12.2 WIMP-Schnittstellen*

Die Abkürzung WIMP steht für die englischen Bezeichnungen[9]: „Windows, Icons, Mouse, Pull-Down Menu“ und charakterisieren die häufigsten Komponenten und Bediengeräte (Maus, Rollkugel, Zeichentablett, o.ä.) der grafischen Benutzerschnittstelle.

### 12.2.1 Windows

Fenster sind rechteckige Bereiche, die eine Software Applikation oder ein Dokument (Datei) beinhalten. Fenster können geöffnet und geschlossen, in der Größe verändert und auf dem Bildschirm verschoben werden. Mehrere Fenster können gleichzeitig geöffnet werden (heute Standard). Es ist möglich, ein Fenster bildschirmfüllend darzustellen oder es zu verkleinern, daß es durch ein Icon auf dem Bildschirm repräsentiert wird. Dabei kann es sinnvoll sein, den Inhalt des Fensters auch zu skalieren. Zusätzliche Aktionen und Formen von Fenstern sind möglich.
Ein Fenster besitzt üblicherweise eine **Titelzeile** (engl. title bar). Das aktive Fenster wird durch Schattierung oder farbliche Hervorhebung gekennzeichnet.

Der **Rahmen** (engl. borders, frames) ist die grafische Abgrenzung des Fensters und gleichzeitig Auswahlobjekt, um die Größe des Fensters zu ändern. Einige Fenstersysteme besitzen dreidimensio-

[9] **tlw. von einigen deutschen Autoren mit „Windows, Icons, Menüs, Pointer“ übersetzt**

nale Effekte, wie z. B. Schattenwurf, um einen Tiefeneindruck zu erlangen. Dafür wird zusätzlicher Platz benötigt, der dem Fensterinhalt verlorengeht.

Die **Scroll bar** ist eine Komponente um den Fensterinhalt zu bewegen, falls das Fenster kleiner ist als der darzustellende Inhalt. Die Hauptoperation ist die Auf/Ab- und Links/Rechts-Bewegung. Einige Scroll bars besitzen Richtungspfeile, die bei Aktivierung eine langsame Bewegung (zeilenweise) ermöglichen und Elemente, die einen Sprung zum Anfang bzw. Ende des Fensterinhalts ausführen. Die Scroll bar beinhaltet eine Scroll Box, deren Größe meist proportional zum Fensterinhalt (z. B. Dokumentlänge) ist.
Weitere Fensterelemente können Knöpfe zum Schließen, Verkleinern und Skalieren sein.

### 12.2.2 Icons

Ein Icon, im Kontext der Informationstechnologie, ist ein grafisches Objekt, Bild oder Symbol, das ein Konzept repräsentiert. Das Aussehen des Icons ist meist eine grafische Repräsentation seiner auszulösenden Aktion (Grafik: Drucker > Aktion: Dokument drucken). Der Inhalt soll einprägsam und für den Benutzer schnell erkennbar, durch die grafische Repräsentation, dargestellt werden.
Innerhalb der WIMP-Oberfläche subsummiert man unter dem Begriff Icon alle Bedienelemente, die in Form von Icons, Buttons (Knöpfe), Switches (Schalter), Sliders (Schieberegler), Selection Boxes (Auswahlboxen) usw. vorkommen. Sie assoziieren stets Bedienelemente der realen Welt (Knöpfe, Schalter, Regler, Auswahlelemente) für vergleichbare Aufgaben. Icons lösen Aktionen aus, z. B. Dokument öffnen, Speichern, Drucken, können Zustände und deren Änderung repräsentieren und dienen der Wertselektion und Werteinstellung. Dabei kann ein Icon durchaus auch eine Kombination der genannten Möglichkeiten repräsentieren.

### 12.2.3 Mouse

„Mouse“ steht für alle Arten von Bedienungsgeräten, die dem Benutzer eine Interaktion mit Elementen der grafischen Benutzerschnittstelle ermöglichen. Typische Eingabegeräte sind Lichtgriffel, Maus, Trackball, Grafiktablett oder Touchscreen. Sie dienen hauptsächlich dem Selektieren und Positionieren sowie der Orientierung bei Bewegungabläufen. Die aktuelle Generation von Mauseingabegeräten bietet verschiedene Möglichkeiten, zusätzliche Tasten (bei mehr als zwei Tasten) mit bestimmten Aktionen zu belegen. Zusätzliche Rolltasten oder Kipptasten erlauben eine direkte Ansteuerung der Scroll Bar für eine Auf/Ab- und Links/Rechts-Bewegung.

### 12.2.4 Pull-Down Menüs

Menüs geben dem Benutzer die Möglichkeit aus einer Liste von Aktionen die passende Aktion zu wählen. Vorteil dieser textuellen Darstellung ist die klare listenartige Struktur und die gleichzeitige Präsentation aller (oder fast aller) Auswahlmöglichkeiten. Diese Auswahlmöglichkeit ist für Novizen und Experten gleichsam gut geeignet. Die Menüobjekte können gruppiert und sortiert dargeboten werden. Durch sukzessives Auswählen und Einblenden (Pulldown) von Untermenüs kann der Benutzer sehr differenziert bestimmte Aktionen selektieren. Menüs befinden sich oft als globale Menüs am oberen Rand der Bedienoberfläche (Position teilweise frei wählbar), sie können aber auch auf andere Komponenten innerhalb der Oberfläche referenzieren und als Popup-Menüs bei deren Selektion aktiviert werden.

## *12.3 Funktionale Einteilung*

Die Objekte der grafischen Benutzerschnittstelle lassen sich auch funktional einteilen. Bei der Umsetzung der Anforderungen kann diese Einteilung hilfreich sein, um die adäquaten Elemente der Schnittstelle zu bestimmten, die integriert werden müssen. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Objekten werden durch die Verwendung unterschiedlicher grafischer Attribute sichtbar gemacht (siehe Tabelle 7).

| **Art** | **Funktion** |
|---|---|
| Navigations- bzw. Steuerungselemente | Steuerung der Ansichten der dargestellten Infor- |

| | |
|---|---|
| | mation (Scrollbalken, Play-Taste, Knöpfe für Fenstersteuerung, Link-Elemente in WWW-Browsern) |
| Interaktionselemente | Dateneingabe durch den Benutzer (Text- und Numerische Eingabefelder, Schieberegler (Slider) zur Werteingabe) |
| Informationselemente | Datenausgabe des Systems (Textfenster, digitale oder analoge Anzeigeelemente, Video- oder Soundapplikation) |

**Tabelle 7: Funktionale Einteilung von GUI-Objekten, nach [Züh 96]**

## 12.4 Die Schnittstellen-Metapher

Den Erfolg verdankt die grafische Oberfläche ihrer einfachen, teils intuitiven Bedienung. Sie erlaubt dem ungeübten Benutzer sich in der an seine natürliche Umgebung angepaßten Arbeitsoberfläche zurechtzufinden. Um die existierenden mentalen Modelle der Benutzer anzusprechen, muß der Software-Entwickler Elemente in die Oberfläche integrieren, die den Benutzern bekannt sind und einen hohen Wiedererkennungswert besitzen. Ein guter Weg dafür ist die Verwendung von Metaphern (griech. Metaphora, zu: metapherein = anderswohin tragen). Der Begriff Metapher entstammt dem Bereich der Rhetorik und ist die Übertragung eines Wortes aus einem Gegenstandsbereich, den es eigentlich bezeichnet, auf einen anderen Gegenstandsbereich. Die Übertragung kann dabei mittels Vergleich, Analogie oder Ähnlichkeit erfolgen.
Eine Softwareanwendung erledigt die Arbeit anders als in der realen Welt. #Eine Abbildung durch Metaphern hilft den Benutzern, aufgrund existierender Kenntnisse über reale Objekte und deren Aktionen, eine Vorstellung von der Funktionsweise der Objekte innerhalb der Softwareanwendung aufzubauen.
Die am weitesten verbreitete Metapher, bzgl. des Computers, ist die Schreibtisch- oder Bürometapher. Die Umsetzung kann verschieden ausgeprägt sein. Der Bildschirmbereich des Benutzers repräsentiert dabei einen Schreibtisch oder ein ganzes Büro. Die grafische Abbildung eines Regals mit Ordnern, eines Telefons oder Schreibblocks eröffnet dem Benutzer über den realen Bedeutungszusammenhang eine Übertragung in den Kontext der Softwareanwendung. Benutzern, die mit dem Computer und dessen Anwendungen noch nicht so vertraut sind, bietet sich mit dieser Hilfe ein leichter Zugang zur Funktionalität der Software. Probleme entstehen allerdings durch die nur teilweise exakte Umsetzung der realen Welt. Der Bildschirmbereich ist viel kleiner als ein Schreibtisch, d. h. viele Fenster werden sich überlappen um die benötigten Informationen darzustellen. Bildschirmbereiche, wie z. B. das Regal mit Ordnern, könnten dann verdeckt und unzugänglich sein, eine Situation, die in der realen Welt nicht vorkommen wird. Für komplexe Interaktionen ist die Schreibtisch- oder Bürometapher daher nicht so gut geeignet.
Eine weitere Art der Metapher ist die des „Control Panel“. Sie basiert auf der Annahme, daß die Bedienung komplexer Software vergleichbar mit der Bedienung einer komplexen Maschine ist, die oft mit eingebauten Bedientafeln bzw. Schalttafeln gesteuert wird [Som 89]. Bei der Gestaltung von grafischen Benutzerschnittstellen bedeutet das, für spezielle Teilbereiche und Aufgaben in der Bedienführung jeweils passende Control Panel zu designen.

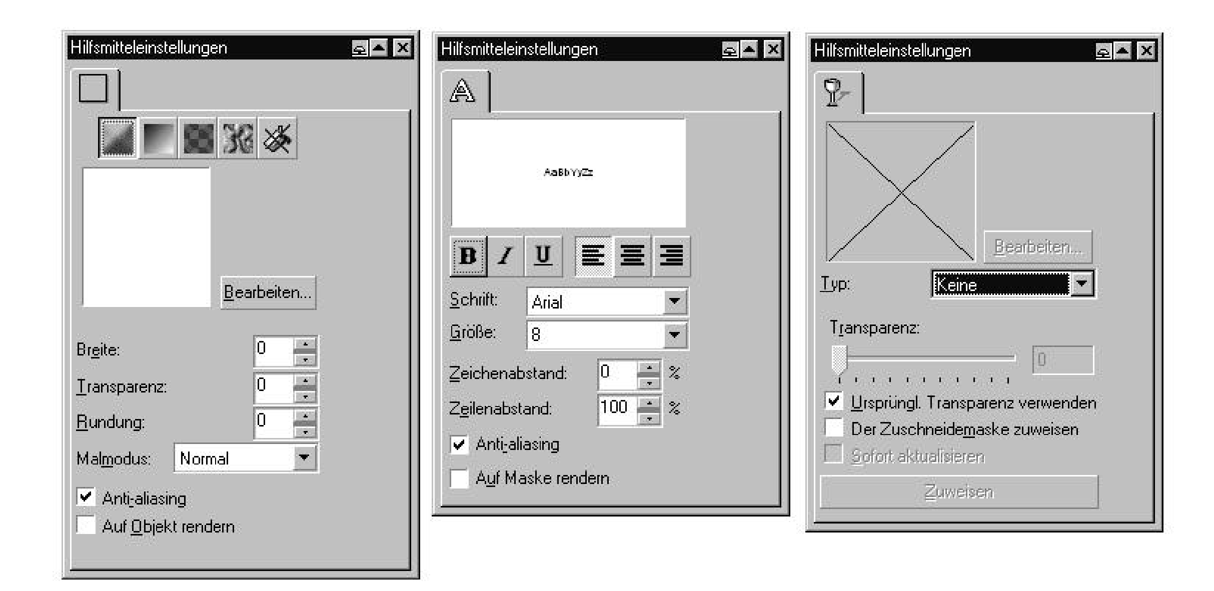



**Abbildung 12-1: Control Panel**

Die Abbildung 12-1 zeigt drei Control Panel aus einem Grafikprogramm. Die Panel zeigen jeweils einen Teil der Grafik-Aktionen, die dem Benutzer im augenblicklichen Zustand des Programms zur Verfügung stehen.

Bei der Anwendung von Metaphern ist außerdem zu beachten, daß der Mensch im allgemeinen vollständig assoziiert. Ein Beispiel soll das verdeutlichen:

Die ersten Umsetzungen des Papierkorbes, im Kontext der Schreibtischmetapher, vernichteten Dokumente unwiederbringlich, wenn sie in den Papierkorb abgelegt wurden. In der realen Welt ist es aber meistens möglich, die Dokumente wieder dem Papierkorb zu entnehmen - dem entspricht unser mentales Modell eines Papierkorbes!

Viele Benutzer warfen Dokumente in den Papierkorb mit der Vorstellung, daß diese dann nicht gleich vernichtet sind. Beim Versuch, Dokumente wieder aus dem Papierkorb zu nehmen, mußten sie dann aber feststellen, daß ihre Dokumente vollständig gelöscht waren. Deshalb erlauben die besser gestalteten Metaphern eine grafische Anzeige, daß sich etwas im Papierkorb befindet (dickes, aufgeblähtes Papierkorbsymbol) und beinhaltet die Möglichkeit, Dokumente wieder aus dem Papierkorb zu entnehmen oder sie endgültig, nach nochmaliger Warnung des Benutzers, zu löschen. Man spricht in diesem Zusammenhang auch vom Begriff der Erwartungskonformität, d. h. daß, was der Benutzer assoziiert, respektive erwartet, sollte auch als Aktion ausgelöst werden.

# 13 Gestaltung der grafischen Benutzerschnittstelle

Unter dem Begriff des „User Interface Design“ versteht man die Erstellung der Bedienschnittstelle zwischen Benutzer und einem spezielle Programm. Diese Aufgabe sollte normalerweise vom User Interface Designer (bzw. Programmierer) und dem Benutzer durchgeführt werden. Bevor man mit der Gestaltung beginnt, ist eine Benutzeranalyse unverzichtbar (siehe Kapitel 14.2). Aus den gesammelten Benutzerinformationen, der Funktionalität des Programms und den Aufgaben, die der Benutzer mit der Software lösen soll, kann man nun an das Design, d. h. die Auswahl der passenden Interaktionsart, der Dialoggestaltung und des grafischen Layouts gehen.

## *13.1 Arten der Interaktion*

Die Art der Interaktion zwischen Benutzer und Programm ist von entscheidender Bedeutung für die Akzeptanz des Systems. Eine Software, die alle gewünschten Eigenschaften bietet, ist schwer zu erlernen und schwer zu bedienen, wenn die Interaktion umständlich ist. Verschiedene Interaktionsarten werden nun im folgenden erläutert und kurz bewertet.

### 13.1.1 Direkte Manipulation

Die Mensch-Maschine-Schnittstelle kann einfacher und effizienter organisiert werden, falls die Informationen visualisiert und somit der direkten Manipulation zugänglich gemacht werden kann. Der Benutzer soll möglichst direkt mit den zur Verfügung stehenden Objekten arbeiten können [Sch 95]. Manipulation bedeutet, mit einfachen Aktionen Objekte zu erzeugen, zu verschieben bzw. mit Hilfe eines Objekts passende Aktionen auszulösen (z. B. ein Dokument auf das Druckersymbol ziehen, um es zu drukken). Vorteil der direkten Arbeitsweise ist eine gute Rückkopplung zwischen grafischer Oberfläche und Benutzeraktion und daher eine natürlichere Arbeitsweise als die indirekte Eingabe von Kommandos. Da man keine Texteingabe benötigt, ist die Fehlerrate geringer als bei der Tastatur- bzw Kommandozeileninteraktion. Nachteile sind ein größerer Aufwand an Systemresourcen und die Schwierigkeit, komplexe Aktionen mittels visueller Komponenten durchzuführen.

### 13.1.2 Tastenorientiert

Bei dieser Interaktionsart wird jede Aktion durch das Drücken einer Taste ausgelöst. Außer alphanumerischen Zeichen gibt es noch spezielle Sondertasten, die den Kursor bewegen oder Tastenkombinationen, die bestimmte Befehle ausführen. Viele Texteditoren bieten diese Art der Interaktion. Vorteil ist die schnelle Ausführung einer Tastenkombination, da bei einem Editor schon zeichenorientiert, also mit der Tastatur, gearbeitet wird. Großer Nachteil ist, daß der Benutzer erst die notwendigen Tastaturkommandos erlernen muß, um das Programm zu bedienen. Vorteilhafter ist da eine Kombination von direkter Manipulation und Tastatursteuerung. Dem Novizen bietet die direkte Manipulation eine leichte Einarbeitung und Bedienung, dem Experten ermöglichen Tastaturkommandos eine schnelle und effiziente Arbeitsweise [Fis 86].

### 13.1.3 Kommandos

Die Eingabe von Zeichenfolgen in einer Kommandozeile ist meist schwieriger als die tastengesteuerte Eingabe. Kurze Kommandos lassen sich zwar recht schnell eingeben, aber ein semantisch sinnvoller Bezeichner sollte eher einen längeren und aussagekräftigen Namen haben, da der Benutzer schneller Kommandos lernen kann und sich später besser daran erinnert. Für seltene Aktionen sind Kommandos also vorteilhafter als Tasten. Als Hilfe für den Benutzer kann das System bei der Eingabe prüfen, ob es sich bei der eingegebenen Zeichenfolge um einen Teil eines korrekt geschriebenen Kommandonamens handelt und den Namen dann expandieren. Die Expansion sollte nicht ohne Verlangen des Benutzers erfolgen (meist Drücken der Tab- oder Space-Taste) und keinesfalls sollte nach der Expansion das Kommando gleich ausgeführt werden [Fis 86].

### 13.1.4 Menüs

Menüs kommen in verschiedenen Formen innerhalb der grafischen Benutzerschnittstelle vor. Einfachste Form ist das binär Menü (engl. binary menu) mit einer binären Auswahlmöglichkeit, z. B. JA-NEIN oder OK-CANCEL. Mehrfach Menüs (engl. multiple-item menus) besitzen mehr als zwei Einträge und erlau-

ben die Auswahl eines Eintrags. Der am häufigsten verwendete Typ ist der des „radio buttons“ (siehe Abbildung Abbildung 13-1).

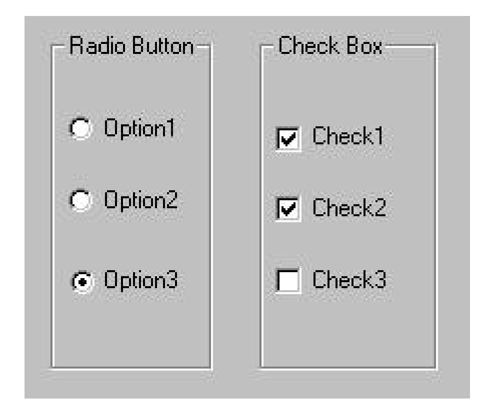



**Abbildung 13-1: Radio Buttons, Check Boxes und Rahmen**

Die Mehrfachauswahl (engl. multiple-selection menu, check box) erlaubt die Auswahl von mehr als einem Eintrag des Menüs (siehe Abbildung 13-1). Diese Art von Menü wird oft zum Festlegen der Programmeinstellung (Konfiguration) benutzt, wenn der Benutzer gleichzeitig zur Auswahl mehrere binärer Möglichkeiten aufgefordert wird.
Die schon besprochenen „Pull-down“ Menüs sind für den Benutzer immer am oberen Rand des Bildschirms verfügbar. Die Einträge im Menü sollten sich stets an die Gestaltungsrichtlinien des eingesetzten Betriebssystems halten, um den Benutzer nicht unnötig zu verunsichern und dadurch Fehler zu provozieren.
Die bereits besprochenen „Pop-up“ Menüs erscheinen, wenn der Benutzer die entsprechende Maustaste über einem Objekt der Benutzerschnittstelle drückt. Der Inhalt des Pop-up Menüs ist dabei kontextabhängig. Da diese Menüs immer den darunterliegenden Grafikbereich verdecken, sollte der angezeigte Text so kurz wie möglich sein. Pull-down und Pop-up Menüs sind meist hierarchisch gegliedert, um eine Vielzahl von Auswahlmöglichkeiten anzubieten. Eine gute Struktur ist dabei sehr wichtig.
Weitere Möglichkeiten für Menüs sind Icon Menüs, Toolbars oder Paletten. Hier bieten die Menüs in knapper Form eine Vielzahl von Auswahlmöglichkeiten, die der Benutzer mit einem Mausklick auswählen kann. Solche Menüs sind oft vom Benutzer hinsichtlich der Einträge (Elemente) und Position auf dem Bildschirm frei konfigurierbar. Dies stellt einen wichtigen Mechanismus zur Individualisierbarkeit der Software, also zur Anpassung der Oberfläche an persönliche Arbeitsweise und Vorlieben des Benutzers dar. Softwareentwickler sollten diese Eigenschaft, der persönlichen Konfiguration der Software konsequent in die Benutzerverwaltung des eingesetzten Betriebssystems integrieren.

### 13.1.5 Weitere Entwicklungen

Durch die steigende Rechengeschwindigkeit und Speichergröße der heutigen Computer und den dadurch entstehenden neuen Möglichkeiten für die Softwareentwicklung sind Forscher und Entwickler gleichermaßen auf der Suche nach neuen Interaktionsmechanismen zwischen Mensch und Maschine.
Gesprochene Sprache ist das Hauptkommunikationsmittel der Menschen. Leistungsfähige Computer und die Umsetzung komplexer mathematischer Modelle (z. B. Hidden-Markov-Ketten) erlauben eine Eingabe von Kommandos in natürlicher Sprache [Hab 98]. Noch versteht der Computer gesprochene Sprache nicht ausreichend, um sie als Haupteingabemöglichkeit zur Verfügung stellen zu können. Allerdings gelangen immer mehr Diktier- und Sprachsteuerungsprogramme auf den Markt, die den Benutzer bei der Texteingabe unterstützen.
Eine andere Entwicklungsrichtung ist der Übergang von der zweidimensionalen zur dreidimensionalen Benutzerschnittstelle. Gerade im Bereich des Internet entwickelten sich verschiedene Anwendungen basierend auf der Virtual Reality Modeling Language. Ausgehend von dreidimensionalen Multimedia-Elementen entstanden virtuelle Galerien und Informationssysteme für Kundenberatung, Support, Ausbildung oder Training. Virtuelle Läden bzw. Marktplätze im Internet befinden sich bereits in der Erprobung. Über 3D-Anwendung zur Navigation in großen Informationsräumen wurde bereits im Kapitel 12.1 berichtet. Im Bereich der Industrie sind es vor allem CAD/CAM und medizinische Virtual Reality-Anwendungen, die mit 3D-Interaktionsmöglichkeiten in der Erprobungsphase aufwarten.

## *13.2 Dialog- und Maskengestaltung*

Zentrales Element der Benutzerschnittstelle ist der Dialog. Darunter versteht man den gesamten Bedienablauf mit seiner organisatorischen und grafischen Gestaltung. Eine wichtige Grundregel beim Entwurf der Benutzerschnittstelle ist die Reduzierung dieses Dialog- und Bedienaufwands unter Beachtung der Kriterien Selbstbeschreibungsfähigkeit, Erwartungskonformität und Steuerbarkeit (siehe Kapitel 11.2.4). Wichtige Elemente des Dialogs zwischen Benutzer und Software sind das Fensterkonzept, die Menüs und die Organisation von Dialogabläufen. Die Maskengestaltung (Maskenlayout) konzentriert sich mehr auf die grafische Auslegung von Elementen der Benutzerschnittstelle, wie z. B. Linien, Abstände, Gruppierungen, Text und Farbe. Bei allen Gestaltungsmöglichkeiten muß man immer die vorgegebenen Gestaltungsrichtlinien (Styleguides) des zugrundeliegenden Betriebssystems beachten. Positives Beispiel ist die konsequente Durchsetzung der Styleguides auf den Apple Macintosh Rechnern [App 91].
In der Dialog- und Maskengestaltung spielen gerade die Gestaltgesetze der visuellen Wahrnehmung eine große Rolle (siehe Kapitel 8.2). Die Aufnahmefähigkeit und Verarbeitung des Ultrakurzzeitgedächtnisses, von ca. 5 bis 7 Chunks, sollten stets bei der Text-, Bild- und Menügestaltung besondere Beachtung finden (siehe Kapitel 10.2.1).

### 13.2.1 Fensterkonzept

Im Kapitel 12.2.1 wurden die Komponenten eines Fensters und mögliche Interaktionen bereits erläutert. In diesem Kapitel werden nun einige grundlegenden Konzepte zum Fensterdesign und der Organisation mehrerer Fenster gegeben.
Das generelle Problem der meisten Benutzer ist, auf einem kleinen Bildschirm mit geringer Bildschirmauflösung (640x480 oder 800x600 Pixel) eine Fülle von unterschiedlichen Informationen gleichzeitig darzustellen. Jedoch ist eine Erhöhung der Bildschirmauflösung (auf 1024x768 Pixel) bei der Benutzung von 14- oder 15-Zoll Bildschirmen nicht mehr ergonomisch, da die Darstellungsqualität merklich leidet und die psychische und physische Beanspruchung rapide ansteigt. Abgesehen von der extremen Konzentrationsbeanspruchung kann solch eine Dauerbelastung zu bleibenden Schäden am Sehapparat führen.
Ziel einer guten Organisation des Fensterkonzepts ist es, dem Benutzer die passenden Informationen anzubieten mit einem minimalen Bedienungsaufwand zur Fenstersteuerung und dabei immer die Übersichtlichkeit zu wahren, um die Augen- und Kopfbewegungen gering zu halten. Ein gutes Fensterkonzept hält die Beanspruchung des Benutzers so gering wie möglich, damit er seine physischen und psychischen Ressourcen für die zu erledigenden Aufgaben einsetzen kann.
Im allgemeinen sind die Möglichkeiten eines multiplen Fensterkonzepts auf kleinen Bildschirmen stark eingeschränkt. Gerade im# Bereich der Informationspräsentation (Börsen-Informationssysteme, Prozeßkontrollinstrumente in der Industrie) sind daher Mehr-Bildschirmlösungen in Benutzung. Nachteilig wirkt sich die langsame Augenbewegung über die Bildschirmbereiche aus und die starke Konzentration auf Orientierungsaufgaben verzögert die Reaktionszeit.
Die meisten grafischen Benutzeroberflächen bieten verschiedene Möglichkeiten Fenster anzuordnen, vertikale oder horizontale Anordnung auf dem Bildschirm, überlappende Darstellung von Fenstern oder Fenster kaskadenartig zu organisieren. Ein oft verwendetes Prinzip ist das des „Hierarchical Browsing“. Dabei stellt ein Fenster die Inhaltsübersicht dar, ein oder mehrere Fenster zeigen den Inhalt und zusätzliche Informationen an.
Oft werden Fenster in Abhängigkeit eines anderen Fensters geöffnet und wieder geschlossen. Anwendungen findet man häufig bei Fehler- und Hinweismeldungen und zugehörigen Hilfefenstern. Solche Konzepte brauchen eine klare Organisation der abhängigen Fenster (wann öffnen, wann schließen, skalierbar ja/nein, usw.). Die Zusammengehörigkeit der Fenster kann durch Titel, Positionierung auf dem Bildschirm und grafische Mittel verdeutlicht werden. Bei solch komplexen Fensterkonzepten muß die Möglichkeit der Speicherung der Bildschirmaufteilung, respektive der Fensteranordnung, gegeben sein.
Eine weitere Möglichkeit ist, mehrere Ansichten ein und desselben Dokuments anzubieten. Dabei gibt ein Fenster eine globale Übersicht, davon abhängige Fenster präsentieren Ausschnitte, z. B. in verschiedenen Auflösungen oder mehrere Teilbereiche des Dokuments, die der Benutzer gleichzeitig sehen muß. Abbildung 13-2 zeigt am Beispiel einer WWW-Präsentation, wie innerhalb des Hauptfensters (WWW-Browser), ein Navigationsfenster (links) und ein Dokumentfenster (rechts) eingebettet sind [Lam 99].

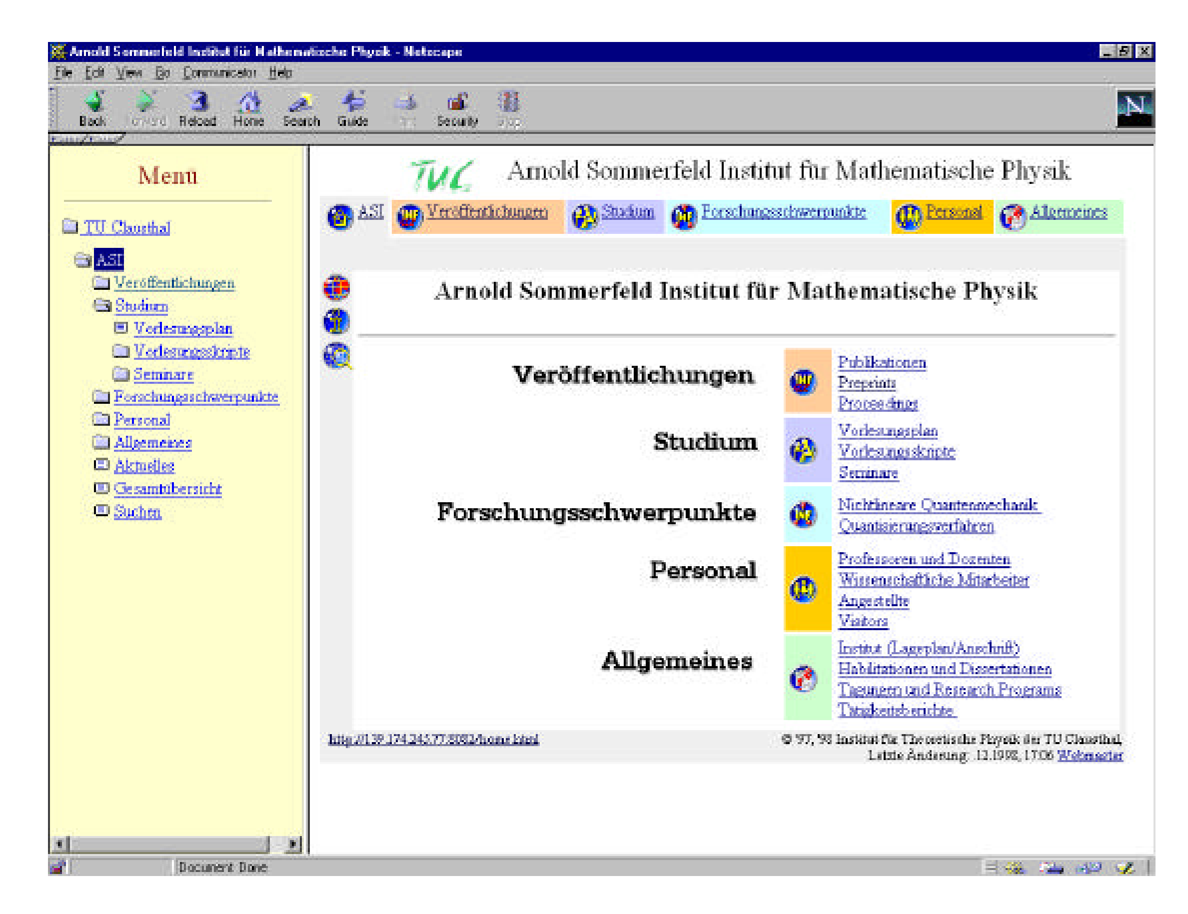


**Abbildung 13-2: Fenster einer WWW-Präsentation**

Allgemein gibt es kein festes Modell für ein gutes Fensterkonzept. Richtlinie für die Organisation der Fenster sind immer die Aufgaben, die der Benutzer zu erfüllen hat[10]. Übersichtlichkeit, geringer Bedienaufwand, gute Koordination von abgängigen Fenstern, Positionierung, Verhinderung ungewollter Überdeckung von Fenstern und Individualisierbarkeit sind Kriterien, die ein ergonomisch gutes Fensterkonzept auszeichnen.

## 13.2.2 Menügestaltung

Nachdem die Einträge für ein Menü festgelegt sind, steht man vor der Aufgabe, die Reihenfolge der Einträge zu organisieren. Dabei sollten häufig zu benutzende Einträge weit oben in der Hierarchie angeordnet sein. Zur Verbesserung der Übersichtlichkeit können zusammengehörige Einträge im Menü durch waagerechte Linien gruppiert werden. Mehrere Informationseinheiten müssen gegebenenfalls weiter untergliedert oder neu strukturiert werden. Mit Hilfe eines gut strukturierten und hierarchisch organisierten Menüs kann man direkt Einfluß auf den Organisationsprozeß des Gedächtnisses (Chunking) nehmen. Durch die aktive Vorstrukturierung wird der Benutzer bei seiner mentalen Modellbildung unterstützt, um einen möglichst schnellen Lernerfolg zu erzielen.
Dem versierten Benutzer bieten Tastaturkürzel (engl.: Shortcuts) einen schnellen Zugang zu Menüeinträgen. Shortcuts verkürzen die Zugriffszeit auf Menüeinträge und erlauben eine flexible Arbeitsweise, je nach Kenntnisstand der Benutzer. Große Softwarepakete offerieren für komplexe Menüaktionen die Definition von Makros. Teilweise sind Makros auch über Skriptsprachen des Betriebssystems programmierbar. Diese Vielzahl von Möglichkeiten erlauben eine Individualisierbarkeit der Software - nicht der Mensch, sondern die Schnittstelle soll sich anpassen.

## 13.2.3 Tabulatorsteuerung

Mit Hilfe der Tabulatortaste kann bei den meisten Betriebssystemoberflächen zwischen den Eingabefeldern und Knöpfen einer Maske navigiert werden. Die korrekte Steuerung der Tabulatorwege wird häufig

[10] **Oft wird auch der Begriff „benutzerzentrierte Entwicklung“ dafür verwendet.**

vernachlässigt. Gerade im Umfeld der Büroarbeit werden oft Daten von Formblättern in den Computer übertragen (siehe Abbildung 14-1). Stimmt die Form der Eingabemaske und der Weg der Tabulatorsteuerung nicht mit dem sequentiellen Ablauf des Einlesens der Daten überein, benötigt man einen erheblichen Mehraufwand an Konzentration.
Der Weg des Tabulators sollte immer einer einheitlichen Richtung folgen. Beginnend links oben bewegt er sich innerhalb einer Gruppierung bis nach unten und springt dann zum nächsten rechts liegenden Element, bis alle Elemente von oben nach unten durchlaufen wurden. Dieser Weg entspricht i. allg. unserer Leserichtung. Der Tabulatorweg sollte erwartungskonform verlaufen, damit der Benutzer nicht suchen muß, wo sich der Tastatur-Focus befindet.

### 13.2.4 Maskenlayout

Hier spielen die Gestaltgesetze eine sehr wichtige Rolle, die bereits in Kapitel 8.2 beschrieben wurden. Eine optimale Gruppierung von Informationen, respektive grafischer Objekte nach gestaltpsychologischen und fachlichen Aspekten ist für eine schnelle Erkennung wichtig. Zusammengehörige Informationen sollten räumlich nah beieinander liegen und können zusätzlich durch Rahmen hervorgehoben werden. Je unterschiedlicher die Bedeutung der Icons (z. B. Knöpfe) und die dadurch ausgelösten Aktionen sind, um so weiter müssen diese Objekte voneinander angeordnet werden. Zusätzlich ist auf die Reduzierung der Ausrichtungslinien (Alignierung) von Bildschirmelementen zu achten (Abbildung 13-3). Dadurch wird ein einheitliches visuelles Bild beim Betrachter erzeugt, das eine Wiedererkennung der Objekte beschleunigt.

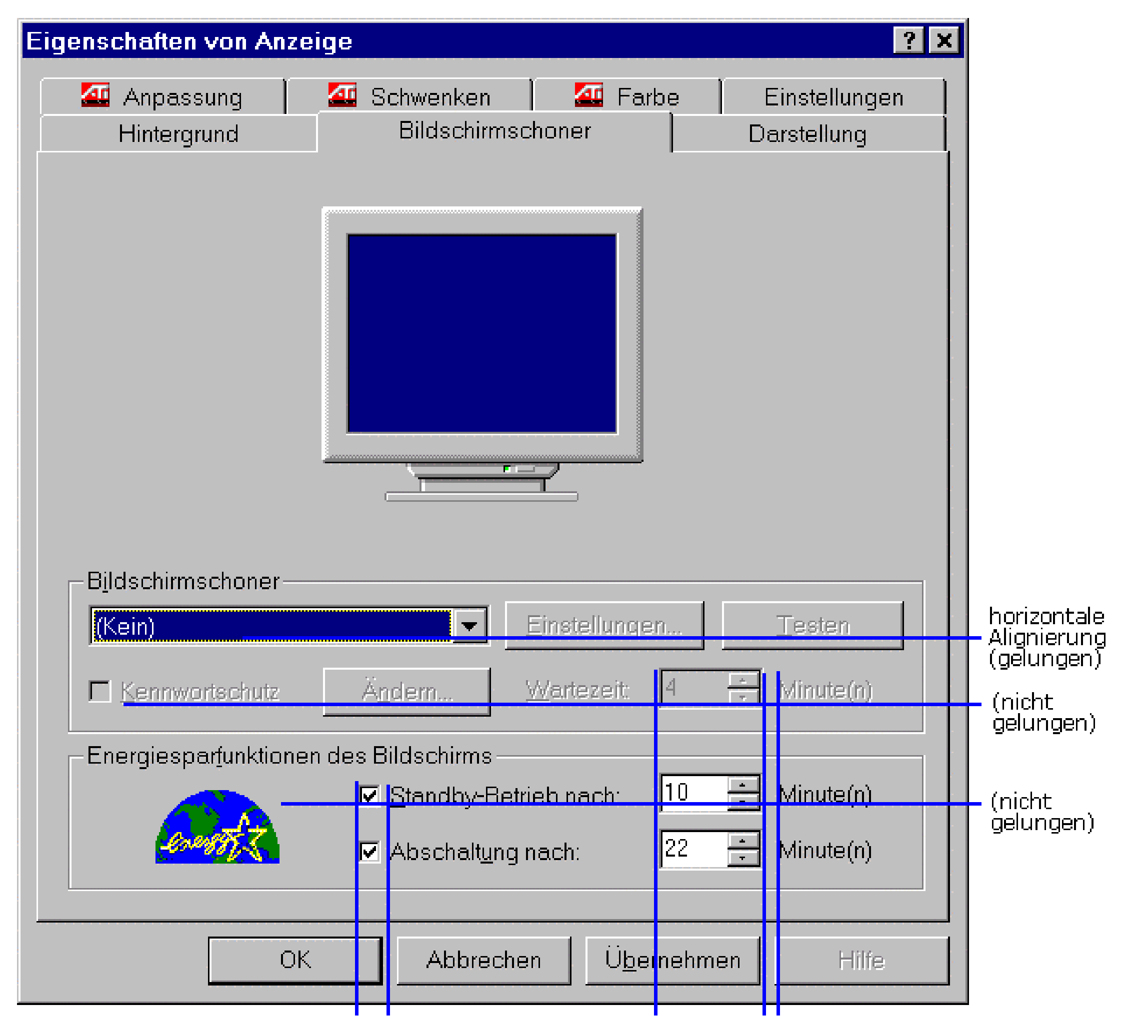



**Abbildung 13-3: Alignierung von Oberflächenelementen [Sch 98]**

### 13.2.5 Textgestaltung

Eine klare und gut lesbare Schrift ist entscheidend für die Wiedererkennung und die syntaktisch-semantische Auswertung der Zeichen. Eine schlechte Darstellung erzeugt unnötige Belastung beim Lesen (z. B. Zeichen in *kursiv* ). Im allgemeinen sind Schriftart, Schriftgrad, Zeilenlänge, Zeilen- und Wortabstände immer unter den Gesichtspunkten der Gestaltgesetze und der Mechanismen der visuellen Wahrnehmung zu wählen. Da man keinen Einfluß auf die Bildschirmauflösung des Benutzers hat, sollte im Programm die Möglichkeit für eine Schriftvergrößerung bzw. -verkleinerung bestehen. In Textpassagen (z. B. bei der Hilfefunktion) müssen wesentliche Aussagen an erster Stelle stehen, da die erste Aussage eine Erwartungshaltung aktiviert, in deren Sinne die folgenden Informationen eingeordnet und bewertet werden.
Dementsprechend muß die Konsistenz in der Namensgebung und Beschriftung ein wichtiges Ziel jedes UI-Designers sein. Ständige syntaktische Änderungen (delete, destroy, kill), die im Kontext doch eine gleiche semantische Aussage haben sollen, erschweren die Bedienung sehr und erhöhen die Fehlerrate. Eine Beschriftung sollte nicht# in Großbuchstaben erfolgen, weil dadurch die Texterkennung zusätzlich erschwert wird.
Sowohl bei der Beschriftung von Icons als auch bei der Darstellung von textuellen Informationen ist der zur Verfügung stehende Raum häufig so klein, daß Abkürzungen verwendet werden müssen. Dabei sollen konventionelle, allgemein bekannte oder in Anwendung gebräuchliche Abkürzungen benutzt werden. Ausführlich beschäftigt sich Shneiderman im Kapitel „Naming and Abbreviations“ [Shn 97] mit diesem Thema.
Generell sollten Abkürzungen nicht in Fehler- und Hinweismeldungen zur Anwemdung kommen!

Zum Abschluß eine Zusammenfassung der wichtigsten Ziele:

- Gut lesbare Schrift
- Schriftvergrößerung bzw. -verkleinerung
- Wichtige Aussagen am Satzanfang
- Konsistenz in der Beschriftung
- Abkürzungsregeln beachten
- Groß- und Kleinschreibung benutzen

### 13.2.6 Farbgestaltung

Farben sind in unserem täglichen Leben wichtige Bedeutungsträger. Ampeln, Verkehrsschilder, Orientierungsmarken, Werbeplakate, Autolackierungen (Feuerwehr, Polizei, Rettungswagen) usw. vermitteln durch ihre Farbcodierung wichtige Eindrücke, die bewußt oder unbewußt unsere visuelle Aufmerksamkeit ansprechen. Farben helfen, die Bedeutung einer Information schneller zu erkennen, Informationen hervorzuheben und eine psychologische Wirkung als zusätzliche Information zu vermitteln. Mit den technischen Möglichkeiten heutiger Grafikkarten und Bildschirmen ist eine realitätsgetreue Farbgebung[11] zu erzielen. Trotz alledem ist eine sinnvolle Farbgestaltung der Benutzerschnittstelle sehr wichtig.

Die zwei häufigsten Fehler der Farbgestaltung [Som 89]:

- Farben als direkte Informationsvermittler einzusetzen
- Benutzung zu vieler Farben und/oder inkonsistente Farbgestaltung.

Gerade unter der männlichen Bevölkerung treten Farbstörungen des Wahrnehmungsapparates weit häufiger auf als bei Frauen (Männer: 0,02 % völlig farbenblind, 1,78 % grünblind, 1,08 % rotblind [Ben 96]). Außerdem ist die individuelle Farbwahrnehmung sehr unterschiedlich und für die Bedeutung von Farben gibt es keine nationalen oder internationalen Standards.
Jedoch ist die Farbsymbolik abhängig vom Kulturhintergrund und sogar abhängig vom zugrundeliegenden Kontext. Ein Beispiel für diese Situationsabhängigkeit: im Straßenverkehr bedeutet die Farbe Rot = Gefahr, im Kontext der Chemie bzw. Physik kann Rot = Heiß bedeuten, in der Medizin Rot = Blut, im

[11] **Begriff: Echtfarbendarstellung, entspricht ca.16,4 Millionen Farben (24bit pro Bildschirmpixel)**

Kontext von Werbung Rot = Liebe. Alle diese Interpretationen sind stark emotional, intellektuell und gesellschaftlich geprägt.

Im allgemeinen gilt für unseren Kulturkreis folgende Farbcodierung:

- Rot: unmittelbare Gefahr, Stop, Verbot
- Gelb: Vorsicht, Achtung
- Grün: Sicherheit, in Ordnung, gefahrlos, Rettung, Fluchtweg
- Blau: Vorschriften, Richtlinien
- Schwarz: allgemeiner Text

Grundsätzlich sollen Farben sparsam verwendet werden. Wichtig ist, daß Helligkeit und Sättigung der Farben nicht zu stark und dadurch störend wirken. Vordergrundfarben sollten sich kontrastreich vom Hintergrund abheben. Da einige Benutzer teilweise noch mit einer Bildschirmdarstellung von 16 oder 256 Farben arbeiten, sollten immer reine Farben verwendet werden, d. h. keine Farben, die sich am Bildschirm aus Mustern zusammensetzen [Sch 98] (siehe Anhang A).
Einige Farbkombinationen sind für das menschliche Auge nur schwer zu fokussieren. Ein Beispiel findet sich in Anhang A (vgl. Kapitel 7.2). Durch bestimmte Farbkombinationen, z. B. Komplementärfarben und Kontrast (siehe Abbildung 13-4 und Kapitel 9.2.1.) ist es möglich, Objekte hervorzuheben oder zu tarnen, was selten gewollt ist!

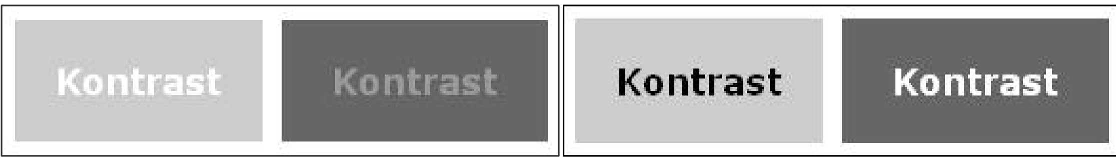


**Abbildung 13-4: Kontrastbeispiele a) schlechter Kontrast, b) guter Kontrast**

Viele Autoren von Design-Richtlinien schlagen eine maximale Anzahl von 4 bis 7 Farben für die Benutzerschnittstelle vor. Ein guter Design-Entwurf sollte in Monocrome erstellt werden. Erst danach sollten Farben zu Markierungs- und Hervorhebungszwecken eingebracht werden. Gerade bei einer hohen Informationsdichte leisten farbige Formatierungen einen großen Beitrag zum schnellen Erkennungsprozeß. Wichtige Statusmeldungen, die an den Benutzer weitergegeben werden sollen, lassen sich durch Farben hervorheben. Damit ist es möglich, die Aufmerksamkeit des Benutzers aktiv zu lenken. Stets muß die Farbgebung unter dem Aspekt der Benutzeraufgabe gesehen werden. Eine „bunte" Oberfläche ist wirkungslos, wenn sie nicht die für den Benutzer relevanten Informationen unterstreicht. Konsistenz in der Farbgebung ist eine weitere Richtlinie der Farbgestaltung. Eine feste Regel zur Farbgestaltung muß für das ganze System gelten.

## *13.3 Hilfesysteme*

Benutzer, die das erste Mal einen Computer bedienen, fühlen sich im Angesicht der unbekannten Symbolik, der unbekannten Arbeitsweise und der großen Anzahl von Aktionsmöglichkeiten des Computers überfordert und abgeschreckt. Wird der Widerspruch zwischen den Anforderungen (z. B. Benutzung des Betriebssystems, der Anwendungsprogramme) und den Bewältigungsmöglichkeiten (Kenntnisse, Erfahrungen) zu groß, löst das Gefühle wie Angst, innere Anspannung, Hilflosigkeit usw. aus. Diese Faktoren führen letztendlich zum Streß.
Das Problem betrifft nicht nur Novizen, auch Experten können in Streßsituationen gelangen. Die Arbeitspsychologie sieht Streß am Arbeitsplatz als eine Reaktion auf psychische Fehlbeanspruchungen. Streß am Computer entsteht immer dann, wenn die Arbeitsaufgabe als beeinträchtigend, unangenehm oder bedrohlich wahrgenommen wird und die Situation oder Aufgabe nicht oder nur schwerlich bewältigt werden kann [Sch 98]. Den Ausweg schaffen Hilfesysteme, die für verschiedene Benutzergruppen und deren Aufgaben ausgelegt sind.
Dokumentation[12], Online Hilfe und Tutorials sind Instrumente, die der Software-Designer wählt, um dem Benutzer Wissen zu vermitteln, das er zum Verstehen und Beherrschen der Software benötigt. Sie

[12] **Die Dokumentation wird in diesem Kapitel „Hilfesysteme" mit berücksichtigt, weil sie immer Bestandteil eines Softwareproduktes ist. Dokumentation, Online-Hilfe und Tutorial sollen sich stets als Einheit darstellen und dürfen niemals konträre Aussagen vermitteln.**

geben einen optimalen Einstieg in das System, dienen als Anleitung und Referenz, unterstützen den Benutzer bei der Bewältigung seiner Aufgaben und sind Ausweg in komplizierten Situationen.
Jede Art von Dokumentation oder Hilfe muß verschiedene Stufen des Wissens und der Erfahrung der Benutzer berücksichtigen! Tabelle 8 und Tabelle 9 zeigen verschiedenste Formen der Benutzeranleitung und Benutzerhilfe.

| Installation<br>„Getting Started“ | Kurze Anleitung zum Einstieg, z. B. Installationsanweisungen |
|---|---|
| Einführung | Allgemeine Beschreibung der Funktionalität |
| Dokumentation | Beschreibt Bedienung und Funktionalität ausführlich |
| Tutorial | Anleitung und Beschreibung der wichtigsten Funktionen an ausgewählten Beispielen |
| Änderungen | Beschreibt nur Änderungen zu vorherigen Version, für Benutzer die mit der Software (o.ä.) schon vertraut sind |
| Quickreferenz | Kurze Beschreibung der Syntax, oft alphabetisch geordnet, (z. B. in Form von Karteikarten) |
| Referenz | Beschreibt komplette Funktionalität bis ins Detail, geeignet für Spezialisten und Entwickler |

**Tabelle 8: Hilfe in gedruckter Form**

| Online Dokumentation | Elektronisches Pendant der gedruckten Dokumentation, oft Suchfunktion und Index, tlw. mit Bookmarks und Notizbuch |
|---|---|
| Online Hilfe | Allgemeine kontextsensitive Hilfe, mit Suchfunktion und Index, erreichbar über spezielle Hilfe-Taste (z. B. „F1“) |
| Online Tutorial | Demonstration von Bedienung und Funktionen bei speziellen Aufgaben, meist interaktiv |
| Online Tour | Überblick geben über Funktionalität, z. B. durch selbst ablaufende Demonstration |
| Schnelle Hilfe<br>„Quick Help“ | Kontextsensitive Hilfe, Hilfetext erscheint an Position des Kursors, in Form eines Rechtecks oder Blase |
| Assistenten | Überprüfen Benutzereingaben, Assistieren bei Aufgaben (Ablaufsteuerung, Vorschläge, kontextabhängige Hilfe) |
| Tips<br>„Tool Tips“ | Kontextsensitive Hilfe auf Benutzerwunsch, oft ein spezielles Icon im Menü (z. B. gelbe Lampe) |
| Notizbuch, Notizzettel | Notizen des Benutzers aufnehmen, Notizen werden (kontextabhängig) wieder für den Benutzer eingeblendet |
| Historie, Verlauf<br>„History“ | Protokoll des Verlaufs von Benutzeraktionen, oft bei Dokumentationen mit Hyperlinks, dienen der Orientierung |
| Markierungen<br>„Bookmarks“ | Benutzer kann Markierungen zur eigenen Orientierung setzen (kennzeichnet bestimmte Systemzustände), bei Aufruf Rücksprung in den alten Systemzustand |
| Statuszeile | Anzeige des aktuellen Systemzustands, einblenden von Hilfetexten oder Statusmeldungen |

**Tabelle 9: Hilfe am Computer**

Für umfangreiche Software bieten sich Kombinationen verschiedener Hilfemöglichkeiten an. Ein gutes Hilfesystem sollte eine Suchfunktion, einen Index, eine Notizbuchfunktion und eine Historie zur Verfügung stellen. Die Schlüsselwörter des Index sollten in Kategorien unterteilt sein, um Novizen den Einstieg in die Thematik zu erleichtern, denn oft kennen sie die genaue Bezeichnung ihrer Aktion nicht. Eine Möglichkeit, das zu umgehen, ist die kontextsensitive Hilfe. Zu jedem Objekt der Oberfläche, über dem der Kursor positioniert ist, kann der Benutzer einen kontextsensitiven Hilfetext angezeigt bekommen (Aktivierung über die Hilfe-Taste, ist systemabhängig).
Tutorials und Hilfen mit Multimediaelementen vermitteln das benötigte Wissen auf leicht verständliche Art und Weise. Die aktive Einbindung des Benutzers, z. B. in Tutorials durch Interaktion (Frage/Antwort) oder manuelle Wiederholung, zielt auf einen möglichst großen Lerneffekt. Aktionen, die der Benutzer nachvollzieht oder selbst ausführt, werden besonders gut im Gedächtnis behalten (siehe auch Kapitel 11.2.5). Untersuchungen haben gezeigt, daß die Koppelung von Eingangskanälen (Hören, Sehen, Selbermachen) die Informationsaufnahme erheblich steigern. Zum Abschluß des Tutorials werden dem Anwender häufig Auswertungen bezüglich des Lernerfolgs gegeben. Der Benutzer kann so seinen persönlichen Fortschritt nachvollziehen.
Hilfe-Assistenten zählen zu den sogenannten aktiven Hilfesystemen. Sie versuchen Probleme oder inadäquates Verhalten des Benutzers zu erkennen, um sich selbständig, mit entsprechenden Hinweisen, in den Dialog einzuschalten. Im Zusammenhang mit der geforderten Selbstbeschreibungsfähigkeit von Software gewinnen dynamische Hilfesysteme („intelligente“ Hilfesysteme) an Bedeutung. Zu den Fähigkeiten der aktiven Hilfesysteme kommt zusätzlich eine Modellierung des Benutzerverhaltens unter Berücksichtigung des bisherigen Dialogverlaufs. Im Idealfall erkennt das System den Informationsbedarf des Benutzers und bietet diese Hilfeinformation selbständig an. Leistungsfähige Hilfesysteme können den Aufwand für Schulungen und Training der Benutzer minimieren und in absehbarer Zeit vielleicht überflüssig machen.

## *13.4 DIN Normen*

Eine ungenügend gestaltete Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine führt zu erhöhten psychischen Belastungen (z. B. Kopfschmerzen, Augenflimmern, Zeitdruck, Streß) und bei längerer Dauer auch zu körperlichen Beschwerden. Bei Bildschirmarbeitsplätzen müssen aus diesem Grund auch rechtsverbindliche Mindestanforderungen eingehalten werden. Die gesetzliche Grundlage hierfür bildet die Bildschirmarbeitsverordnung, die am 20.12.1996 in Kraft getreten ist (siehe Anhang C).
Für die Gestaltung von grafischen Benutzerschnittstellen existieren eine Reihe von Normen und Richtlinien. Die Norm: DIN EN ISO 9241 „Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten“ bietet eine Reihe wichtiger Richtlinien [Gör 99]:#

- Anforderungen an Farbdarstellung
- Grundsätze der Dialoggestaltung
- Angaben zur Benutzbarkeit
- Informationsdarstellung
- Benutzerführung
- Dialogführung mittels Menü
- Dialogführung mittels Kommandosprachen
- Dialogführung mittels direkter Manipulation
- Dialogführung mittels Bildschirmformularen

Wichtige Normen und Gesetze entstammen dem Bereich der Prozeßleittechnik, die sich mit der Gestaltung von Leitwarten sowie Steuer- und Kontrollsystemen beschäftigt. Eine Vielzahl der Erkenntnisse läßt sich in den Bereich der grafischen Benutzerschnittstellen übertragen. Im Anhang B befindet sich dazu eine Liste relevanter DIN Vorschriften.

# 14 Die Benutzerschnittstelle im Prozeß des Software-Engineering

Software ist ein Sammelbegriff für Programme und der dazugehörigen Dokumentation. Unter dem Begriff des Software-Engineering faßt man die Gesamtheit aller Methoden und Hilfsmittel zusammen, die für die Entwicklung, Handhabung und Wartung von Software benötigt werden.
Ziel des Software-Engineering ist es, aus wissenschaftlichen Erkenntnissen der Informatik und praktischen Erfahrungen solche Methoden und Hilfsmittel zu entwickeln, mit deren Hilfe qualitativ hochwertige Software wirtschaftlich erstellt werden kann. Dazu gehören auch Methoden des Projektmanagements, die für eine erfolgreiche Durchführung großer Softwareprojekte nötig sind und die Maßnahmen der Qualitätssicherung mit in den Projektablauf einbeziehen.
Hochwertige Software vereint einige wichtige Merkmale in sich, die in Tabelle 10 aufgezählt werden.

| | |
|---|---|
| Zuverlässigkeit | Die Software sollte fehlerfrei sein und gleiche Ergebnisse in gleichen Situationen liefern. |
| Effizienz | Die Software sollte schnell und zweckentsprechend arbeiten. |
| Wartbarkeit | Die Software soll strukturiert, leicht modifizierbar und gut dokumentiert sein. |
| Mensch-Maschine-Schnittstelle | Dem Benutzer eine geeignete, d. h. den Anforderungen und Fähigkeiten entsprechende Schnittstelle bieten. |
| Portierbarkeit | Die Software soll für den möglichen Einsatz auf andere Hardware oder Betriebssystem eingerichtet sein. |
| Wiederverwendbarkeit | Die Software oder Teile davon sollen sich für andere Entwicklungsprojekte wiederverwenden lassen. |

**Tabelle 10: Merkmale hochwertiger Software**

Um die Komplexität heutiger Software-Entwicklungen zu beherrschen, existieren verschiedene Modelle, die den Entwicklungsprozeß beschreiben. Zu den wichtigsten Modellen zählen das Wasserfallmodell, das Iterative Wasserfallmodell, das Spiralmodell, die untersuchende Programmierung und das Prototyping, siehe [Som 98].

## *14.1 Phasen der Softwareentwicklung*

Der Entwicklungsprozeß kann als Modell grob in vier wichtige Phasen unterteilt werden:

- Systemspezifikation
- Systemkonstruktion
- Modulprogrammierung
- Systemintegration

Dabei beschreibt der Begriff des „Systems“ die Gesamtheit aller Teile der Software, die Eingaben und Ausgaben verarbeiten und dabei Informationen speichern, transformieren und ausgeben. Ein Modul ist eine abgeschlossene softwaretechnische Einheit, die eine Funktions- und/oder Datenabstraktion realisiert. Ein Modul besitzt Schnittstellen zu anderen Teilen des Systems [Den 91].
Ausgangspunkt für die Erstellung einer **Systemspezifikation** sind die Anforderungen und Wünsche des Auftraggebers (bzw. des Benutzers). Diese sollen im Verlauf der Anwendungsanalyse erfaßt, formuliert und schriftlich festgehalten werden. Wichtig ist, das externe Systemverhalten zu beschreiben. Dazu gehören funktionale Anforderungen, Beschränkungen für das System bezüglich Hardware, Software, Zeitverhalten, Kosten, betriebliche Organisation, eine Beschreibung der Benutzerschnittstelle, der Datenbankanforderungen und Wartungseigenschaften (Portabilitätsschnittstellen, Organisation). Aus den Informationen der Anforderungsanalyse sowie den Informationen zum fachlichen (z. B. betriebswirtschaftlichen) und organisatorischen Umfeld wird schrittweise, mit immer größerer Detailliertheit, eine Systemspezifikation erstellt.

Die Systemspezifikation besteht aus drei wesentlichen Teilen: dem Datenmodell, dem Funktionenmodell und einer Beschreibung der Benutzerschnittstelle. Aus der Analyse formuliert man eine anwendungsbezogene Darstellung der Daten. Das Funktionenmodell legt die einzelnen Funktionen des Systems fest und verbindet sie mit dem Datenmodell. Die Benutzerschnittstelle legt die Art der Datenrepräsentation und Funktionenbenutzung fest.
Die **Systemkonstruktion** beschreibt, wie die Systemspezifikation technisch umgesetzt werden kann. Zusammengehörige Funktionen werden zu Modulen gegliedert und ihre statischen und dynamischen Beziehungen festgelegt (Modularisierung). Zur Systemkonstruktion gehört ein Datenbasisentwurf, der Struktur und Organisation der Daten festlegt und die Prozeßorganisation, die festlegt, wann Module in welchem Prozeß ablaufen und wie sie untereinander kommunizieren.
Die anschließende **Modulprogrammierung** wird dann für die einzelnen Module durchgeführt. Über die Modulspezifikation, in der die Funktionalität und Schnittstellen für eine Implementierung beschrieben werden, gelangt man zu einer Modulkonstruktion, dem eigentlichen Programmcode. Beim anschließenden Modultest werden die Module in einem Testsystem bezüglich der Spezifikation getestet.
Die **Systemintegration** bindet die einzelnen Module über Teilsysteme zu einem laufenden Gesamtsystem zusammen. Dabei werden sowohl die Teilsysteme und das Gesamtsystem getestet. Der Test des Gesamtsystems wird mit Hilfe der Benutzerschnittstelle durchgeführt.
Alle Teile des Entwicklungsprozesses müssen ausreichend dokumentiert werden. Zu beachten ist, daß den beteiligten Personen/-gruppen adäquate Dokumentationen zukommen (allgemeine Beschreibungen für Auftraggeber, Programmcode und detaillierte Beschreibungen für Entwickler).

## *14.2 Benutzeranalyse*

Viele Softwaresysteme scheitern an einer mangelhaften Implementierung der Benutzerschnittstelle. Nach langer Entwicklung kommt es im realen Einsatz zu Fehlbedienungen durch den Benutzer, fachliche Mängel werden sichtbar und die Bedienung ist viel zu kompliziert. Die Leidtragenden sind meistens die „kleinen“ Benutzer, die dann tagtäglich mit software-ergonomisch mangelhaften Programmen arbeiten müssen. Die Gründe sind oft eine oberflächliche Benutzeranalyse und eine zwischen Benutzer und Entwickler schlecht abgestimmte Anforderungsdefinition der grafischen Benutzerschnittstelle.
Die große Vielfalt menschlicher Fähigkeiten, Motivationen, Persönlichkeiten, und Arbeitsstile stellen eine Herausforderung für den Softwareentwickler dar.
Die Analyse der Benutzer kann grob in drei Bereiche gegliedert werden: Analyse der beteiligten Personen, Analyse der Aufgaben und Analyse des Umfelds.

### 14.2.1 Analyse der beteiligten Personen

Bei der Analyse der beteiligten Personen gilt es, relevante Daten über die Benutzer zu sammeln:

- Alter, Geschlecht, körperliche Fähigkeiten, Behinderungen
- Wissenstand (Fachwissen, spezielle Computerkenntnisse, Anfänger, Experten, Schrift- und Sprachkenntnisse)
- motorische Fähigkeiten und Reaktionen (Training, Automatisiertheit)
- Problemlösen (systematische Herangehensweise oder Ausprobieren)
- allgemeine kognitive Leistungsfähigkeit (Aufmerksamkeit, Konzentration, Wachsamkeit, Ermüdung)
- Lernen und Gedächtnisleistung (Kurzzeitgedächtnis und Informationsmenge, Lernverhalten, Vergessen, Ignorieren)
- Soziales Umfeld, Zugehörigkeit zu Gruppen und Kulturkreis (ethisch und moralische Konventionen, religiöse Beschränkungen, Darstellung von Objekten oder Handlungen)
- Emotionale Einstellung (Angst, Furcht)
- Drogen, Tabletten

### 14.2.2 Analyse der Aufgaben

Unter diesem Gesichtspunkt werden Daten über Aufgaben, Organisationsstrukturen und Abläufe im Arbeitsprozeß gesammelt, an denen die Benutzer beteiligt sind:

- Arbeitsaufgaben (Arbeitsablauf, Richtlinien, Gewohnheiten)
- Intensität und Dauer der Anwendung (Monotonie, Langeweile, Beanspruchung)
- Geltende Gesetze und Normen (Verbote, Sicherheitsmaßnahmen, Standards)

- Entscheidungsfähigkeit, Entscheidungsbefugnis, Zuständigkeiten
- Konventionen (Fachbegriffe, Symbolik)

### 14.2.3 Analyse des Umfelds

Hier werden relevante Daten erhoben über das Arbeitsumfeld der Benutzer sowie die technischen Gegebenheiten und Möglichkeiten:

- Anwenderzahl (Gruppen- oder Einzelarbeit)
- Arbeitsmittel (Bildschirmgröße, Bildschirmauflösung, Leistung der Computer)
- Arbeitsort (Großraum- oder Einzelbüro, innerhalb oder außerhalb geschlossener Räume, z. B. Baustelle)
- Umweltbedingungen (Lichtverhältnisse, Temperatur, Luftfeuchtigkeit)
- Standards im Unternehmen (z. B. bzgl. verwendeter Software, „Corporate Identity“ bzgl. Farben, Logos)

## *14.3 Kooperative Systemgestaltung*

Software-Ergonomie erfordert grundsätzlich andere Denk- und Herangehensweisen, die sich von den gewohnten technisch dominierten Denkweisen der Software-Entwickler deutlich unterscheiden. Um Fehlentwicklungen der Benutzerschnittstelle zu vermeiden, muß die Anwenderbeteiligung integraler Bestandteil der Software-Entwicklung sein. Im Verlauf des gesamten Entwicklungsprozesses sollen Benutzer und Entwickler gleichberechtigt zusammenarbeiten. Diese Form der Beteiligung wird als kooperative Systemgestaltung bezeichnet.
Die Informationen, bezüglich Aufgabenbeschreibungen und Benutzerprofile, werden im Gespräch mit den zukünftigen Benutzern ermittelt. Mögliche Arten sind Anwendertreffen mit allen Beteiligten (am „runden Tisch“), Interviews und Strukturierte Interviews [Som 89]. Bereits in der Entwurfsphase müssen regelmäßige Kontakte mit den zukünftigen Benutzern eingeplant werden, in denen ihr Feedback zu den aktuellen Entwürfen eingeholt wird.
Mögliche Arten von Entwürfen für die zukünftige Schnittstelle sollten immer adäquate Darstellungen und Ausführungen für die Benutzer beinhalten. Werden die Entwürfe von den Benutzern nicht verstanden, können weitere Diskussionen keine positiven Auswirkungen auf den Entwicklunsprozeß haben. Die folgende Aufzählung bietet eine Auswahl verschiedener Entwurfsmöglichkeiten:

- Bilder (z. B. Bildschirmentwürfe, Bilder von Eingabemasken oder wichtigen Interaktionselementen)
- „Mockups“ (Entwurf auf dem Papier, einzelne Objekte der Oberfläche aus Papier ausgeschnitten, können durch Verschieben passend angeordnet werden)
- Interaktionsdiagramme, Storyboards (Modellierung des Dialogablaufs; Wichtig: einfache Form wählen!)
- Prototypen (Entwurf der grafischen Oberfläche ohne oder mit teilweise vorhandener Funktionalität)

Grundsätzlich sollten die Entwickler mit einem ausgearbeiteten Konzept zu solchen Design-Meetings gehen. Ein erster Entwurf wird zunächst ohne den Benutzer entwickelt und getestet (z. B. Design-Reviews, Inspektionen, in [Som 89] und [Den 91]). Der überarbeitete Entwurf wird dann zusammen mit dem Benutzer getestet. Dazu muß kein fertiger Prototyp vorliegen, oft reicht zunächst ein Entwurf auf Papier (Mockup-Technik). Das folgende Zitat, aus Using Paper Prototypes to Manage Risk“ von C. Snyder [Sny 96], beschreibt die Eindrücke einer Designerin nach einem 2-tägigen Usability Test mit Papier-Prototypen (Mockups).

*„In some cases, we found that developers had been arguing about something that the users didn't even notice! At the same time, there were huge problems in the interface that no one had anticipated. Usability testing gave everyone on the team a sense*

*of what the real issues were; the ones that would affect the success of the next release.“*

Fertige Prototypen der Benutzerschnittstelle können beim Benutzer, beim Entwickler oder, wie heute oft üblich, in speziellen Usability Labs getestet werden. Hier steht der Benutzer bei seinen Aktivitäten unter ständiger Beobachtung, z. B. mit Videokameras oder durch Einwegspiegel. Psychologen, Entwickler und Marketingexperten werten die Arbeitsabläufe und Ergebnisse aus (z. B. Statistiken über Zeiten, Fehler, Merkkurven), um herauszufinden, wie benutzerfreundlich das System ist. Abbildung 14-1 zeigt das Ergebnis eines Design-Reviews [Ans 98].

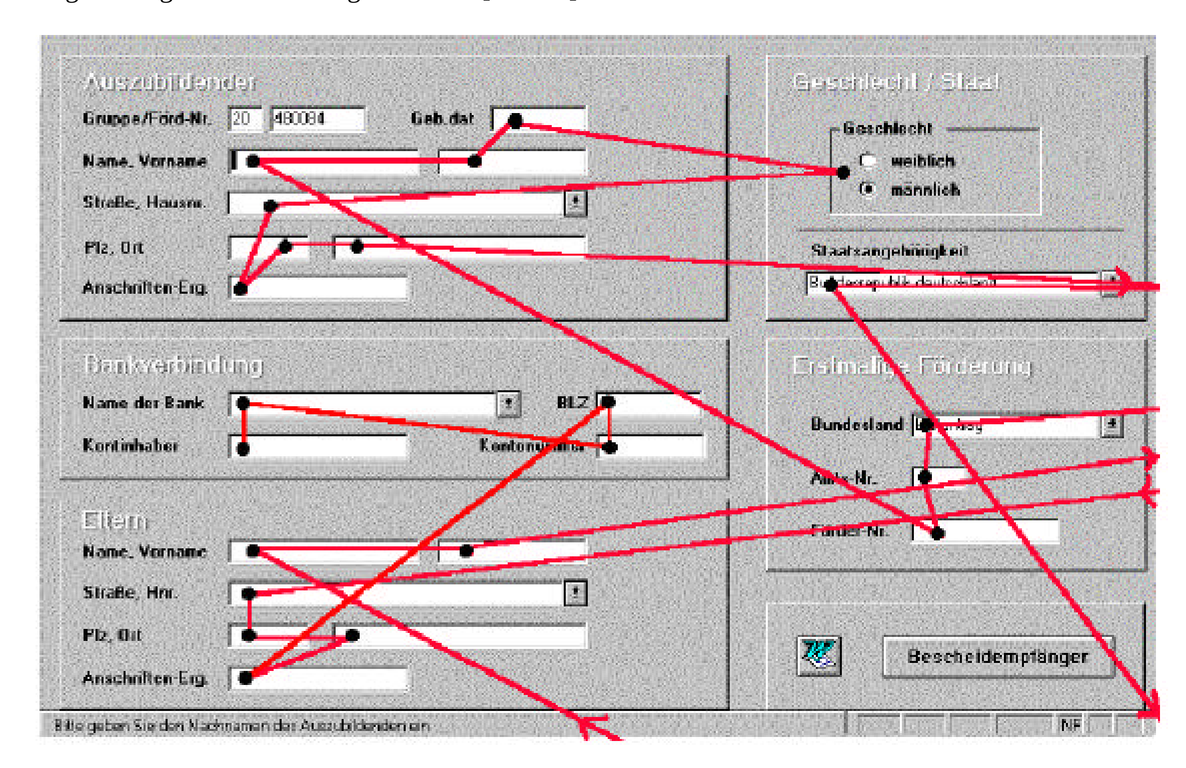



**Abbildung 14-1: Ergebnis eines Design-Reviews**

Hier hatten Sachbearbeiter die Aufgabe, Daten von einem (bundeseinheitlichen) Papierformular in den Rechner einzugeben. Die Feldanordnung der Vorlage und des Bildschirmformulars unterschieden sich deutlich. Die Markierung beschreibt die Navigation, um die Daten in der Reihenfolge des Papierformulars einzugeben.

Shneiderman [Shn 98] beschreibt fünf wichtige menschliche Faktoren, die bei der Gestaltung der Benutzerschnittstelle zu überprüfen sind:

1. *Die Zeit zum Erlernen*
   Wieviel Zeit benötigt ein typischer Benutzer, um die Kommandos[13] für bestimmte Aufgaben zu lernen?
2. *Ausführungsgeschwindigkeit*
   Wie lange dauert die Ausführung einer bestimmten Aufgabenfolge?
3. *Fehlerrate des Benutzers*
   Wie viele und welche Fehler machen die Benutzer beim Ausführen der Aufgabenfolge?
4. *Gedächtnisleistung über eine bestimmte Zeit*
   Wie gut behalten die Benutzer ihr Wissen über eine Stunde, einen Tag oder eine Woche? Dies gibt Rückschlüsse auf das Lernen während der Bearbeitungszeit.
5. *Subjektive Zufriedenstellung*
   Wie beurteilen die Benutzer Teile des Systems?

---

[13] **Bezieht sich nicht nur auf Texteingabe der Kommandos, auch Menüauswahl und Fensternavigation gehören dazu.**

Resultierende Verbesserungsvorschläge werden dann zur Diskussion gestellt, weiter überarbeitet und präzisiert. Änderungen und neue Anforderungen sind schriftlich festzuhalten. Der Entwurf der Bedienoberfläche ist immer ein iterativer Prozeß. Ändern des Entwurfs sowie erneutes Testen sollten mehrfach wiederholt werden, um eine möglichst ergonomische Benutzerschnittstelle zu erzielen.

## *14.4 Fehleranalyse und Handlungstheorie*

Eine meist unterschätzte Methode zur Überprüfung der Benutzeraktivitäten ist das „Laute Denken“. Bei der Erprobung von Prototypen werden alle Programmaktionen vom Benutzer laut vorgetragen und von einem Prüfer protokolliert (auch mit Videoaufzeichnung möglich). Die direkte Kommentierung gibt Aufschluß über Denk- und Handlungsprozesse des Benutzers.
Kenntnisse über diese Denk- und Handlungsprozesse benötigt der Entwickler zur Analyse von auftretenden Fehlern und dem Umgang mit Fehlerkonsequenzen. Daraus lassen sich Gestaltungskonsequenzen für die Fehlervermeidung und die Unterstützung des Fehlermanagements ableiten.
Aus Untersuchungen zu Handlungsfehlern bei der Computerarbeit entstand eine handlungstheoretische Fehlertaxonomie (siehe Tabelle 11).

| Regulationsgrundlage | Wissensfehler | | |
|---|---|---|---|
| **Regulationsebenen** | **Schritte im Handlungsprozeß** | | |
| | Ziele/Planung | Gedächtnis | Rückmeldung (Feedback) |
| Intellektuelle Regulationsebene | **Denkfehler** | **Merk- und Vergessensfehler** | **Urteilsfehler** |
| Ebene der flexiblen Handlungsmuster | **Gewohnheitsfehler** | **Unterlassensfehler** | **Erkennensfehler** |
| Sensumotorische Regulationsebene | **Bewegungsfehler** | | |

**Tabelle 11: Taxonomie von Handlungsfehlern bei Computerarbeit [Zap 91]**

Auf der intellektuellen Regulationsebene kommen Denkfehler (Fehler bei der Planung), Merk- oder Vergessensfehler (Gedächtnisleistung) und Urteilsfehler (Feedback des Computers wird falsch eingeschätzt) vor. Auf der Ebene der flexiblen Handlungsmuster sind Gewohnheitsfehler (falsche Planung auf Grund von Gewohnheiten), Unterlassensfehler (eine eigentlich bekannte Handlung wird nicht ausgeführt) und Erkennensfehler (Feedback wird nicht wahrgenommen) zu finden. Auf der automatisierten Regulationsebene treten Bewegungsfehler (Tippfehler, Positionierung der Maus) auf.
Erkennensfehler sind häufig Folge mangelnder Entdeckbarkeit von Information. Gestaltungsempfehlungen wären z. B. zentrale Positionierung von Anzeigen und Kodierung der Information in mehrere Sinnesmodalitäten (optisch und akustisch). Bewegungsfehler mit der Maus resultieren oft aus einer schlechten Erreichbarkeit der Objekte (Größe, Objekte verdeckt, zu eng nebeneinander positioniert).
Gewohnheits- und Unterlassensfehler haben ihre Ursachen oft in der mentalen Leistungsfähigkeit der Benutzer. Aufmerksamkeit, Konzentration, Müdigkeit und/oder Zeitdruck erhöhen hier die Fehlerhäufigkeit.
Denk- und Wissensfehler entstehen durch Wissensdefizite, sowohl fachlich als auch bzgl. des Computers. Der Benutzer zieht dann falsche Schlüsse oder trifft falsche Entscheidungen. In der Praxis treten diese Fehlerklassen meistens in Kombination auf.

### 14.4.1 Fehlervermeidung und Fehlermanagement

Eine Fehlervermeidung in die Software zu integrieren, führt bei der Systemgestaltung häufig zu einer enormen Komplexitätserhöhung. Vorteilhafter ist es, ein Fehlermanagement zur Unterstützung des Benutzers bei der Fehlerbewältigung zu implementieren. Gerade die Fehlervermeidung auf der intellektuellen Ebene (Wissens-, Denk- und Urteilsfehler) gestaltet sich schwierig bis unmöglich. Alle Fehler des Benutzers können niemals vorausgesehen werden.

Das Eintreten negativer Fehlerkonsequenzen zu minimieren ist wichtiger als die Fehler zu vermeiden. Fehler wirken um so bedrohlicher, je weniger der Benutzer über die Folgereaktionen weiß. Mögliche Abhilfe schafft die geforderte Selbstbeschreibungsfähigkeit der Benutzerschnittstelle (mit allen Konsequenzen für die Gestaltung). Wichtig ist, dem Benutzer die Handlungskonsequenzen sichtbar zu machen (Feedback) und ihm eine „Undo“-Möglichkeit (zurück in den vorherigen Systemzustand) zu geben. Die Fehlerbehebung wird beispielsweise unterstützt durch Änderung von Eingaben ohne Verlust vorhergehender Einstellungen. Eine Fehlererklärung kann dem Benutzer wichtige Hinweise zur Ursache und späteren Vermeidung des Fehlers geben.

# 15 Entwurf und Implementierung einer dreidimensionalen Navigation für einen WWW-Server

Das World Wide Web (Abk.: WWW) präsentiert sich dem Anwender meist als unüberschaubare Anzahl von Seiten mit verschiedensten Inhalten, die unter Verwendung eines WWW-Browsers angezeigt werden. Der Anwender ruft eine Seite auf und kann über Hyperlinks zu weiteren Seiten gelangen. Von diesen Seiten gibt es dann wieder Hyperlinks zu anderen Seiten usw., was oft dazu führt, daß der Anwender in der Informationsfülle die Orientierung verliert („Lost-in-Hyperspace“). Ohne Überblick, von welcher Seite er gekommen ist, weshalb er eine andere Seite aufgerufen hat oder dem inhaltlichen Zusammenhang, fängt er dann mit der Informationssuche von vorne an oder gibt auf.

Eines der Hauptprobleme der WWW-Benutzer ist daher, die Informationsmenge zu überschauen, Zusammenhänge zu begreifen bzw. ganz allgemein - die Übersicht zu behalten.

Ein Ziel der Forschung und Entwicklung im Bereich Informationstechnologie ist es, geeignete Verfahren der Informationsvisualisierung zu entwickeln, die es ermöglichen, die kognitiven Prozesse des Menschen optimal anzusprechen und aktiv zu unterstützen. Als Ansatz bietet sich dabei eine räumliche Darstellung an, weil der Mensch durch seine reale Welt damit vertraut ist. So ist er in der Lage, große Mengen an visuellen Informationen schnell aufzunehmen, zu interpretieren und zu reproduzieren, da die Evolution dafür effiziente Mechanismen zur Orientierung im dreidimensionalen Raum hervorgebracht hat. Diese kognitiven Fähigkeiten gilt es für die Schnittstelle zwischen Mensch und Computer auszunutzen.

## 15.1 *Ausgangspunkt der Entwicklung*

Im Rahmen einer Diplomarbeit am Institut für Informatik entstand ein WWW-System mit einer menügesteuerten Navigation [Lam 99]. Dem Benutzer bietet dieses WWW-Systems die Möglichkeit, mit Hilfe zweier Fenster eine Inhaltsübersicht sowie den Inhalt einer WWW-Seite gleichzeitig zu betrachten (siehe Abbildung 13-2), wobei die Inhaltsübersicht durch eine Menüstruktur dargestellt wird.

Das Fenster der Inhaltsübersicht ist auf die zweidimensionale Bildschirmfläche beschränkt, aber die Anzahl der Menüpunkte kann sehr schnell anwachsen. Da jeder Menüeintrag in einer einzelnen Zeile dargestellt wird, ist dann lediglich ein kleiner Ausschnitt der Information sichtbar.

Andere Modelle für eine zweidimensionale Darstellung abstrakter Informationen sind beispielsweise Tabellen, Graphen, Bäume und Netze, und seit neuestem die Möglichkeit, diese Modelle um die dritte Dimension zu erweitern. So kann der Betrachter mit der entsprechenden Software die Informations--Szene animieren und interaktiv steuern.

Im Bereich des WWW wurde für die 3D-Visualisierung die Szenenbeschreibungssprache VRML - Virtual Reality Modeling Language entwickelt (siehe Kapitel 16). Mit einem WWW-Browser und einem sogenannten VRML Plug-In kann jeder Internetbenutzer virtuelle Welten auf seinem Rechner darstellen (siehe Kapitel 16.4).

Aus dieser Präsentationsmöglichkeit entstand die Idee einer dreidimensionalen grafischen Umsetzung der Menüstruktur eines WWW-Servers.

Bei einer dreidimensionalen, grafischen Darstellung kann Information auf Attribute der Objekte wie z. B. Farbe, Form und Position abgebildet werden. Durch die geometrischen Beziehungen im 3D-Raum und zusätzliche Farbcodierung der Objekte können so semantische Beziehungen auf einfache Art und Weise dargestellt werden. Diese dreidimensionale Präsentationen sind intuitiv und somit schneller durch den Betrachter erfaßbar als eine rein textuelle Darstellung mit Hilfe von Menüs.

Die Vorzüge der dreidimensionalen Informationsdarstellung wurden in [Hem 92] folgendermaßen postuliert:

- Der 3D-Raum stellt für den Menschen einen natürlichen Bezugsrahmen zur Verfügung, in den er sich selbst einordnen kann. Er kann sich als Teil des Raumes empfinden und sich in diesem Raum lokalisieren.
- Navigation kann auch mit vagem Ziel und diffusem räumlichen Erinnerungsvermögen (bei mehrmaligen Zugriff auf den gleichen Datenraum) erfolgen.
- Räumliche Darstellungen sind nicht deshalb besonders vorteilhaft, weil sie potentiell mehr Informationen enthalten, sondern weil die durch Anordnung im Raum möglichen Indexierungen der Information die Informationsverarbeitungsprozesse des Menschen effizient unterstützen.

- Darstellungen im 3D-Raum unterstützen intuitive Schlußfolgerungen des Menschen, die für ihn unbewußt ablaufen.
- Der Informationsvermittlung im 3D-Raum stehen durch Position, Entfernung und Perspektive mehr Parameter als im Zweidimensionalen zur Verfügung.

Das visuelle Wahrnehmungs- sowie das räumliche Erinnerungsvermögen des Menschen sind für die Aufgabe der Orientierung in räumlichen Strukturen hochgradig spezialisiert, so daß die kognitive Belastung sehr niedrig ist (siehe Kapitel 8 und Kapitel 9). Zusätzlich kommt eine motivierende Komponente ins Spiel, wenn dem Benutzer die Möglichkeit geboten wird, völlig frei durch Bewegung und Aktionen, die virtuelle Welt selbst zu erkunden.

## 15.2 Aufbau und Datenformat des Menüs

Der Aufbau des Menüs wird mit Hilfe mehrerer JavaScript[14]-Funktionen realisiert. Die Einträge des Menüs sind hierarchisch strukturiert (Ordner, Unterordner, einzelne Seiten). Die Ordner können durch Mausklick auf- und zugeklappt werden. Wird ein Eintrag des Menüs ausgewählt, so wird die zugehörige HTML-Seite im rechten Fenster dargestellt. Im HTML-Code der Seite befinden sich Variablen, die über JavaScript eine Rückmeldung an das Menü geben, so daß der Menüeintrag daraufhin farbig hervorgehoben wird.
Die Informationen des Menüs (die Einträge) müssen zunächst als Textdatei vom Entwickler eingegeben werden. Der benutzte JavaScript-Sourcecode für das Menü stammt von Paul Dermody (Copyright) und legt das Format der Knoten eindeutig fest (so werden die Einträge im Menü genannt). Die Knoten werden in einer Baumstruktur abgelegt. Ein neuer Knoten wird wie folgt erzeugt:

*name = new node ('name', 'location', 'title', 'description', [child nodes]).*

- name: Name des Knotens
- location: URL[15] der zugehörigen HTML-Seite
- title: Titel der Seite im Menü
- description: Text wird in der Statuszeile des Browsers angezeigt
- child nodes: Liste der Kindknoten (falls vorhanden), Namen durch Komma getrennt

Die Wurzel des Baums wird mit „root“ erzeugt:
*root = new node ('name', 'location', 'title', 'description', [child nodes]).*

Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind alle Knoten in einer sogenannten „Site Map“-Datei definiert. Diese Datei stellt damit die Ausgangsinformation für eine 3D-Darstellung zur Verfügung.
Im folgenden Kapitel wird nun die Sprache VRML kurz erklärt, um eine Vorstellung vom Aufbau und den Interaktionsmöglichkeiten der dreidimensionalen Szene zu vermitteln.

---

[14] **JavaScript ist eine von der Firma Netscape entwickelte Script-Sprache für das World Wide Web. Statische HTML-Seiten können damit um Progammfunktionen erweitert werden [Net 99].**
[15] **URL: Uniform Resource Locator, Referenz auf ein Objekt im Internet, besteht aus dem Namen des gewünschten Service (http, ftp) und der IP-Adresse (z. B. http://139.174.100.48) oder dem Domain-Namen des Servers (http://spc.in.tu-clausthal.de).**

# 16 Virtual Reality Modeling Language

Das Kapitel 16 soll einen Einblick in die Virtual Reality Modeling Language geben. Es werden lediglich grundlegende Konzepte angesprochen, um ein Basiswissen zu vermitteln, das zum Verständnis der nächsten Kapitel nötig ist. Da die Beschreibung des Standards „VRML97“ sehr umfangreich ist verweise ich auf folgende WWW-Ressource [VRM 97] sowie die Bücher [Ame 97], [Car 97] und [Har 96].

## 16.1 Stand der Entwicklung von VRML

VRML ist ein Dateiformat zur Beschreibung interaktiver 3D Objekte und Welten für das World Wide Web. Die Spezifikation VRML 1.0 wurde 1995 von der Firma „Silicon Graphics“ definiert. Die interaktiven Möglichkeiten waren dabei noch sehr beschränkt. Die Weiterentwicklung unter dem Arbeitstitel „Moving Worlds“ wurde 1996 mit der Version VRML 2.0 definiert und brachte Verbesserungen vor allem im Bereich der dynamischen und interaktiven Welten (Version 2.0, ISO/IEC CD 14772, 4.8.1996). Aktueller Stand der Entwicklung ist Teil 1 der Spezifikation ISO/IEC 14772-1:1997 auch bekannt unter dem Namen „VRML97“ (siehe [VRM 97]).
VRML bietet sogenannte Knoten, Felder und Ereignisse zur Beschreibung der 3D-Szene. Es gibt Knoten für die Definition von Geometrien (z. B. Box, Cone), zur Definition von Eigenschaften (z. B. Material, FontStyle) und zur Positionierung und Organisation von Objekten (z. B. Transform, Group). Spezielle Sensorknoten reagieren auf Benutzeraktivitäten, wie z. B. ein Touch Sensor, der auf Mausklicks reagiert (siehe [VRM 97]).
Felder dienen zur Eingabe von unterschiedlichen Datentypen, z. B. numerischen Werten, Vektoren oder Strings. Die Zuweisung eines Wertes an spezielle Ereignisfelder kann dynamisch während der Darstellung der Szene erfolgen. Man spricht dann von einem Ereignis. Dadurch können Knoten untereinander Informationen austauschen und bestimmte Aktionen auslösen.

## 16.2 Aufbau der VRML-Szene

Der Aufbau der dreidimensionalen Szene wird durch einen Szenegraphen beschrieben.
Die Wurzel kann im einfachsten Fall ein Geometrieknoten sein. Meistens wird ein Gruppenknoten verwendet, der eine beliebige Menge weiterer Knoten aufnehmen kann (Unterknoten können wieder Gruppenknoten sein). Die Blätter bilden solche Knoten, die keine Knoten aufnehmen können oder deren Knotenliste leer ist (siehe Abbildung 16-1).

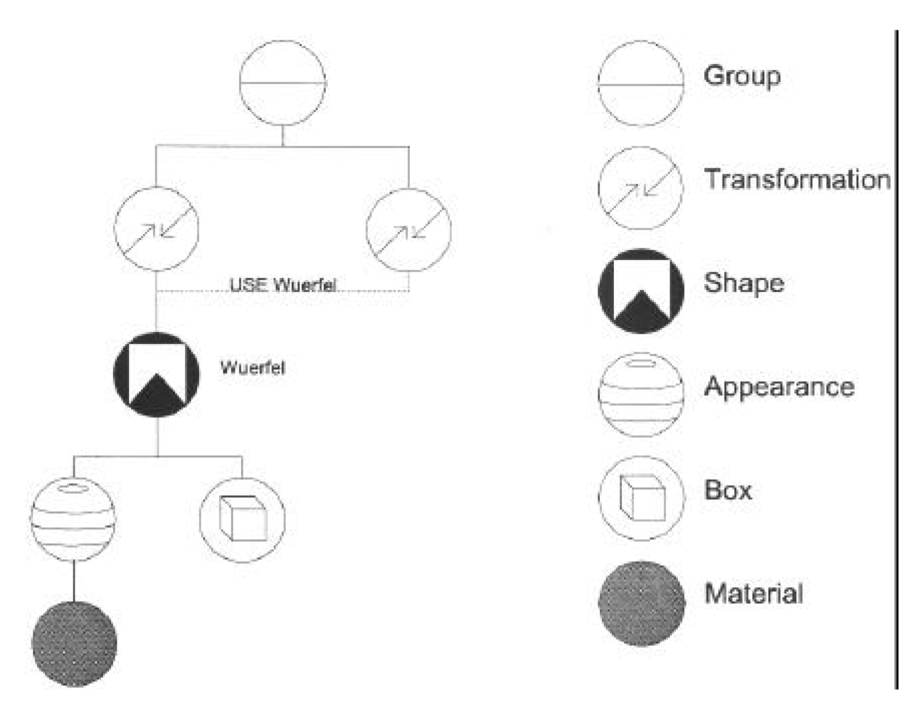



**Abbildung 16-1: Szenegraph für zwei Würfel [Ris 97]**

Als Ergänzung kann ein Knoten von mehreren anderen Knoten referenziert werden. Die Knoten erhalten mit Schlüsselwort „DEF“ einen Namen und können über „USE“ an anderen Stellen der Szene verwendet werden. Dies ermöglicht die Wiederverwendung bereits generierter Teilszenen.
Der Szenegraph wird als ASCII-Datei gespeichert. Die erste Zeile der Datei lautet: „#VRML V2.0 utf8“ und gibt die Versionsnummer und den Standard der Zeichenkodierung an (UTF-8 gemäß ISO10646, siehe [ISO 93]).
Es folgt ein dokumentiertes Beispiel in VRML 2.0 für den Szenegraphen aus Abbildung 16-1.

```
„#VRML V2.0 utf8                    - Dateikopf
Group {                             - Gruppenknoten
  Children [                        - Knotenliste von 'Group'
    Transform {                     - Koordinatensystem X,Y,Z
      scale 2 1 1                   - Skalierung des Würfels
      rotation 0 1 1 0.785          - Drehung
      translation 1 1 1             - Würfel verschieben
      children [                    - Knotenliste der Kinder
        DEF Wuerfel Shape {         - Definition 'Wuerfel'
          geometry Box {}                - Geometrie festlegen
          apperance Appearance {    - Knoten für das Aussehen
            material Material {     - Materialknoten
              diffuseColor 1 0 0    - Farbe 'Rot'
            }
          }
        }
      ]
    }
    Transform {                     - Koordinatensystem X,Y,Z
      scale 1 2 1                   - Skalierung des Würfels
      translation -1 -1 -1          - Würfel verschieben
      children [
        USE Wuerfel                 - 'Wuerfel' verwenden
      ]
    }
  ]
}
```

Diese Szene wird als Textdatei abgespeichert. Zur Darstellung mit einem VRML-Viewer sind üblicherweise die Dateiendungen „wrl“ oder „wrz“ zu verwenden (siehe Kapitel 0). Solche VRML-Viewer werden bei Standardbrowser (z. B. Netscape Navigator, Netscape Communicator, Microsoft Internet Explorer) meist im Softwarepaket mitgeliefert.

## 16.3 Benutzerdefinierte Erweiterungen

Zur Vereinfachung der VRML-Szenen können Objekte mit Hilfe der Schlüsselwörter „DEF“ und „USE“ innerhalb einer VRML-Datei definiert und mehrmals wiederverwendet werden. Dieses Konzept ist aber sehr unflexibel, da an die referenzierten Objekte keine Parameter übergeben werden können. D.h. die Darstellungseigenschaften können nicht verändert werden.
Als Erweiterung wurden daher sogenannte Prototypen eingeführt (siehe Kapitel 17.2.4). Ein Prototyp ist eine Objektdefinition mit verschiedenen Parametern und wird innerhalb der VRML-Szene wie ein Knoten verwendet. Der Prototyp kann dann mehrmals unter Verwendung verschiedener Parameterwerte in die Szene eingebunden werden (ähnlich wie Funktionsaufrufe in Programmiersprachen). Durch die einmalige Definition des Prototyps und den späteren Aufrufen (nur Parameterübergabe) muß weniger Text in die VRML-Datei geschrieben werden. Die Platzeinsparung ist nicht unerheblich, wenn man bedenkt, daß ein Prototyp mehrere hundert mal verwendet wird. Ein weiterer Vorteil ist die optimierte Verarbeitung von Prototypen innerhalb des VRML-Viewers [Car 97].

## *16.4 Systemanforderungen für VRML*

Die Darstellung der VRML-Szene geschieht in einem WWW-Browser, wie z. B. Netscape Communicator oder Microsoft Internet Explorer (beide ab Version 4), mit Hilfe eines VRML-Viewers. Von der Firma Silicon Graphics wurde eigens das Programm „Cosmo Player“ entwickelt, das in der aktuellen Version 2.0 den Sprachumfang VRML 2.0 unterstützt. Diese Software existiert für die meisten Betriebsysteme. Im Programm „Netscape Communicator“ kann man mit dem Befehl „about:Plugin“ Auskunft über die verwendeten Zusatzprogramme bekommen.
Beim Aufruf einer VRML-Datei mit der Endung „wrl“ oder „wrz“ wird der VRML-Viewer automatisch gestartet. Als minimale Hardwarevoraussetzungen sind unter Windows 95/NT ein Pentium PC, 16MB RAM und 16-bit Farbtiefe gefordert.
Der VRML-Viewer erscheint dem Benutzer am unteren Rand des Fensters als sogenanntes Dashboard (Instrumententafel). Das Dashboard beinhaltet zwei Kontrollmechanismen: „Walk“ und „Examine“. Im Status „Walk“ kann der Benutzer die 3D-Szene begehen, im Status „Examine“ kann er die dargestellten Objekte genauer untersuchen (siehe Abbildung 16-2 und Abbildung 16-3).

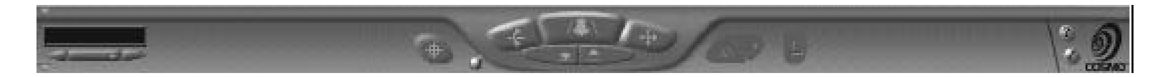


**Abbildung 16-2: „Walk“ Dashboard**

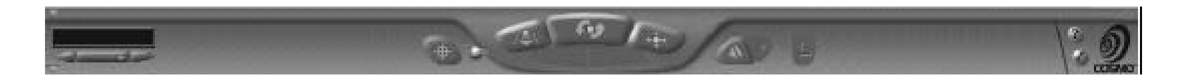


**Abbildung 16-3: „Examine“ Dashboard**

Die Bedienung geschieht mit der Maus oder über Tastaturkürzel. Die folgenden Tabellen (Quelle: „Cosmo Player“ Helpfile) geben eine Übersicht der wichtigsten Elemente des Dashboards.

| | | |
|---|---|---|
| Go | | Drag to move around in the world. Drag up to move forward, down to move backward, right to turn left, or left to turn right. |
| Slide | | Alt-drag to move straight up and down, or to slide left and right. |
| Tilt | | Ctrl-drag to look around without moving. |
| Float | | Lets you fly through a world above the ground. |
| Gravity | | Lets you walk through a world on the ground. |

**Tabelle 12: Bedienelemente des „WALK-Dashboard“**

| | | |
|---|---|---|
| Rotate | | Drag with the mouse to spin the object(s) in front of you. |
| Pan | | Alt-Drag to move the object in front of you left, right, up, or down. |
| Zoom | | Ctrl-Drag to move the object in front of you closer or farther. |

**Tabelle 13: Bedienelemente des „Examine-Dashboard“**

# 17 Konzeption und Realisierung der 3D-Schnittstelle

Aus den Daten der SiteMap-Datei können folgende Eigenschaften eines Menüeintrags (bzw. Knotens) entnommen werden: Name, URL, Titel, Beschreibung im Menü und Liste der Kind-Knoten (vgl. Kapitel 15.2). Zusätzlich sind die Seiten des WWW-Servers farbig hervorgehoben, entsprechend der Zugehörigkeit zu speziellen Themengruppen. Daraus resultieren die minimalen Anforderungen (Eigenschaften) an die Objekte der 3D-Szene.
Zu beachten ist aber, daß zu den Menüeinträgen auch die semantischen Beziehungen abgebildet werden sollen. Darum wird nun eine Unterscheidung nach Art der Information durchgeführt.

## 17.1 Informationsarten

Die zu visualisierenden Daten können in zwei Klassen eingeteilt werden:

- Objektdaten
  Objekte sind die HTML-Seiten, die vom WWW-Server zur Verfügung gestellt werden. Jedes Objekt ist eindeutig durch den Knotennamen in der SiteMap-Datei bestimmt. Sie werden durch einfache geometrische Figuren visualisiert (Kugel, Würfel, Zylinder).
- Beziehungsdaten
  Diese Art der Daten gibt an, ob zwischen zwei oder mehreren Objekten eine Relation besteht. Im Falle der WWW-Seiten ist dies die Beziehung der Link zwischen zwei Seiten, wobei Links durch dreidimensionale Pfeile dargestellt werden. Die Richtung des Pfeils kennzeichnet daher, von wo der Link ausgeht und auf welche Seite er verweist (hier endet die Pfeilspitze).

Zur Darstellung der Objekte und Beziehungen wird ein dreidimensionaler Baum Verwendung finden, da eine Baumstruktur ungefähr der Art und Weise entspricht, wie die Informationstruktur des WWW-Servers aus Sicht des Benutzers interpretiert werden kann. Eine dreidimensionale Darstellung unterstützt damit die mentale Modellbildung des Betrachters bzgl. des Zusammenhangs der WWW-Seiten.

## 17.2 Realisierung des Programms „Create3d“

Zur Erstellung erster Prototypen der Szene wurde ein Texteditor benutzt. Die Darstellung der Szene erfolgte mit „Netscape Communicator 4.04“ und dem VRML-Plugin „Cosmo Player 2.0“.
Für die Entwicklung des Programms „Create3D“, das automatisch eine SiteMap-Datei in eine VRML-Szene überführt, wurde die Programmiersprache C++ und die Entwicklungsumgebung „Microsoft Visual C++ Version 5.0“ benutzt.

### 17.2.1 Das Programm „Create 3D“

Das Programm zur automatischen Generierung der VRML-Szene wird von der Kommandozeile mit dem Befehl „Create3D“ aufgerufen.
Wenn keine Parameter übergeben werden erscheint ein Hilfetext, der die Syntax des Programmaufrufs beschreibt:

```
Liesst die „Sitemap-Datei“ des Servers und erzeugt daraus eine VRML 2.0 Szene

 Create3D Map-Datei [-v Ausgabedatei] [-s Integer] [-d Double]

  Map-Datei        Name der Sitemap-Datei
  -v Dateiname     Name der VRML-Datei die erzeugt wird
  -s integer       Skalierung der VRML Szene     : Wert vom Typ Integer
  -d double        Durchmesser der Linkpfeile    : Wert vom Typ Double

 Letzte Aenderung Februar 1999 von Sascha Aderhold
```

Das Programm erwartet als ersten Parameter den Namen der SiteMap-Datei. Wird nur der Name angegeben, liest das Programm die Datei ein und wertet die Informationen aus. Ist die Syntax der SiteMap-Datei falsch, erscheint eine Fehlermeldung.

Mit der Option „-v“ kann der Name für die Ausgabedatei bestimmt werden, wobei dann das Programm eine VRML 2.0 Szene generiert und diese als ASCII-File ausgibt.
Die Optionen „-s“ und „-d“ erlauben dem Benutzer, das Aussehen der VRML-Szene zu verändern. Mit dem Parameter „Skalierung“ können die Abstände der Objekte gestaucht oder gestreckt werden (jeweils gleichmäßig in Richtung der drei Achsen). Mit dem Parameter „Durchmesser“ kann der Durchmesser der Linkpfeile verändert werden. Für beide Parameter gelten voreingestellte Werte: s=#, d=#.
Das Einlesen der Parameter und die Aufrufe zum Einlesen der SiteMap-Datei bzw. Schreiben der VRML-Datei sind im Programmteil „Create3d.cpp“ definiert.

### 17.2.2 Einlesen der Site Map-Datei

Die Einleseroutine trägt den Namen Maplesen (Anhang #) und ihr wird der Dateiname der einzulesenden Datei übergeben (char* Datei). Damit wird ein Input-Filestream geöffnet und die Datei zeilenweise bearbeitet.
Die Zeilen werden nach dem Schlüsselwort „node“ durchsucht. Wird der String gefunden, wird dynamisch ein neues Objekt vom Typ Knoten erzeugt. Die Klasse Knoten ist in „Liste.hpp“ deklariert. Der neu erzeugte Knoten wird auf die Knotenliste gesetzt und die Knotenparameter der SiteMap-Datei werden ausgelesen (Knotenname, URL des Knotens, Name des Knotens im Menü, Beschreibung des Knotens für Statuszeile). Als letzter Parameter werden die möglichen Kindknoten aufgenommen. Dabei wird überprüft, ob die verknüpften Kindknoten bereits als Konten definiert sind (in Anlehnung an die Formatdefinition der SiteMap von Paul Dermody).
Die Knoten werden bis zum „root“-Knoten gelesen (nach Formatdefinition - der letzte Knoten in der SiteMap-Datei).
Ein Zeilenanfang „//“ kennzeichnet Kommentarzeilen. Diese werden gesondert behandelt. Die Zeilen werden von den JavaScript-Funktionen nicht ausgewertet, d. h. hier werden nun zusätzliche Informationen für die VRML-Szene platziert. Wie bereits erwähnt wurde, sind die HTML-Seiten des WWW-Servers bzgl. ihrer Themenzugehörigkeit farbig hervorgehoben. Um diese Information an die VRML-Szene weiterzugeben, kann in Kommentarzeilen das Schlüsselwort „Farbe“ benutzt werden. Mit „// Farbe skript = '.9 .2 .0' „ wird dem Knoten „skript“ und seinen direkten Nachfolgern (Kindknoten) der Farbwert zugewiesen. Der Knoten muß vorher definiert worden sein, die Farbdefinition kann danach in jeder beliebigen Kommentarzeile folgen.
Am Ende der Einlesevorgangs wird die Liste mit allen Knoten zurückgegeben.

### 17.2.3 Erstellung der VRML-Szene

Mit dem Kommandozeilenparameter „-v“ und der Angabe eines Dateinamens wird die Generierung der VRML-Szene gestartet. Dazu erfolgt der Aufruf „Vrmlschreiben (...)“ aus der Quellcode-Datei „Write.cpp“.
Alle Zeilen der VRML-Datei können dann über einen Output-Filestream ausgegeben.
Bevor die einzelnen Elemente der VRML-Szene geschrieben werden können, ist die Berechnung der Koordinaten im dreidimensionalen Raum notwendig.

#### *17.2.3.1 Visualisierung von Bäumen*

Die Darstellung von hierarchisch vernetzten, baumartigen Informationsstrukturen ist in 2D weit verbreitet. Die Darstellung hierarchischer Unternehmensstrukturen in der Betriebswirtschaft oder die Darstellung von Programmabläufen in der Informatik sind nur zwei Beispiele. Die Erweiterung dieser Darstellung um eine dritte Dimension und die Möglichkeit der Animation stellt eine neue Qualität der Visualisierung dar.
Im Rahmen des Information-Visualizer-Prototyps des Xerox Palo Alto Research Centers [Xerox PARC] wurden verschiedene Visualisierungsformen entwickelt. Darunter eine animierte, dreidimensionale Form für Baumstrukturen, der sogenannte „Cone Tree“.
Diese dreidimensionale Darstellung macht eine effektivere Ausnutzung des Bildschirms möglich. Die Darstellung des gesamten Baums ist im Dreidimensionalen mit größerem Verzweigungsfaktor möglich als bei einer zweidimensionalen Darstellung (Berechnungen und Vergleiche von 2D und 3D in [Hem 94]).

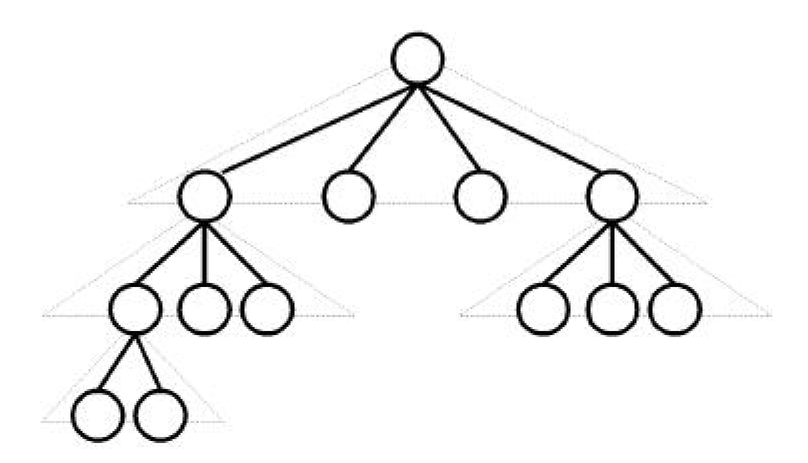


**Abbildung 17-1: Baum- und Kegelstruktur**

In Anlehnung an die „Cone Tree“ Darstellung wurde eine Visualisierung auf der Basis geometrischer Kegelformen gewählt. Abbildung 17-1 zeigt den Zusammenhang der Baumstruktur mit der Form des Kegels.
Der Vaterknoten befindet sich an der Spitze des Kegels, die Kindknoten werden auf der Peripherie des Grundkreises angeordnet. Jeder Kindknoten kann seinerseits wieder Vaterknoten eines untergeordneten Kegels sein (siehe Abbildung 17-2).

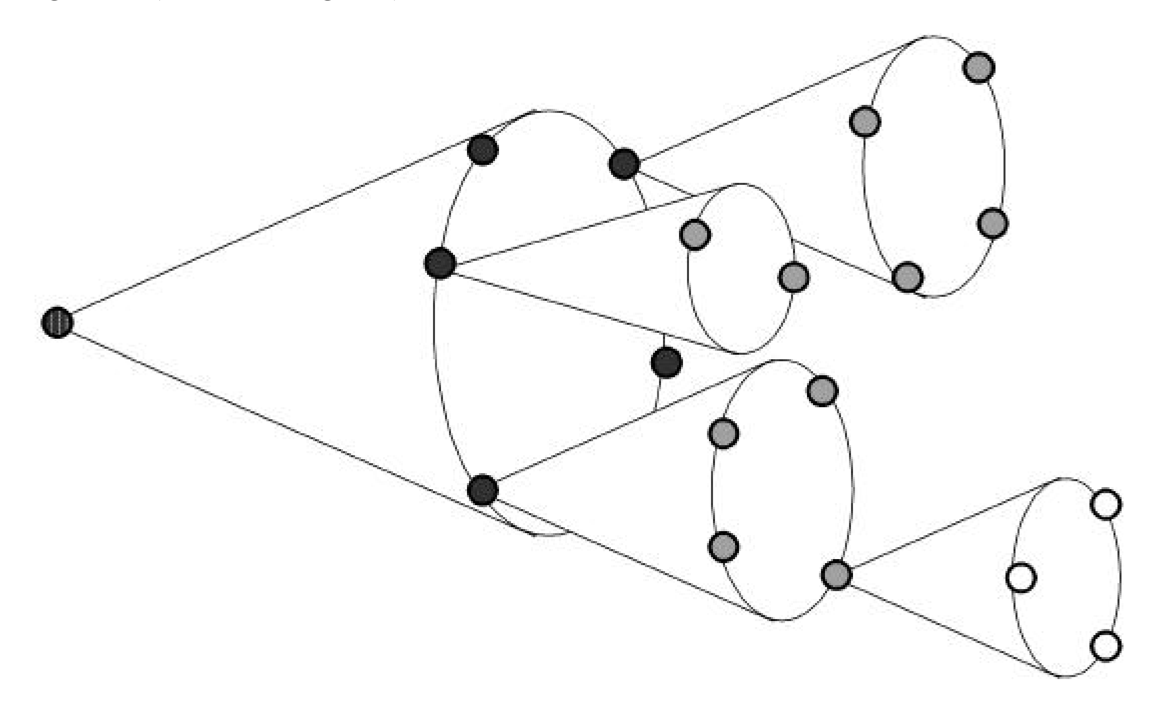


**Abbildung 17-2: Perspektivische Darstellung der Kegel und Knoten**

#### *17.2.3.2 Berechnung des 3D-Baums*

Der Durchmesser der Kegel muß vom untersten Kegel, zum übergeordneten Kegel usw. bis zum Root-Kegel nach oben abgeschätzt werden. Auf der untersten Ebene haben die Knoten keine Nachfolger, man nennt sie auch Blätter des Baumes. Der Platzbedarf jedes Blattes wird durch eine Konstante festgelegt. Daraus läßt sich der Umkreis und der Radius des Kegels berechnen. Die Blätter sind dann gleichmäßig auf der Peripherie des Grundkreis verteilt.




**Abbildung 17-3: Lage der Blätter auf dem Kreis**

Der Platzbedarf eines Teilbaumes (Umkreis des Teilbaums) läßt sich dabei aus dem Platzbedarf der Unterbäume berechnen (siehe Abbildung 17-4). Die Summe aller Durchmesser der Unterbäume K1, K2, K3 wird mit 1,5 multipliziert (Erfahrungswert) und ergibt damit den Umkreis des Vaterkreises. Proportional zum Durchmesser der Unterbäume werden die Knoten auf der Peripherie des Vaterkreises verteilt. Der Umkreis des Vaterkreises (Umkreis des Teilbaums) berechnet sich aus dem Radius des Vaterkreises plus dem Radius des größten Teilbaums - K3.

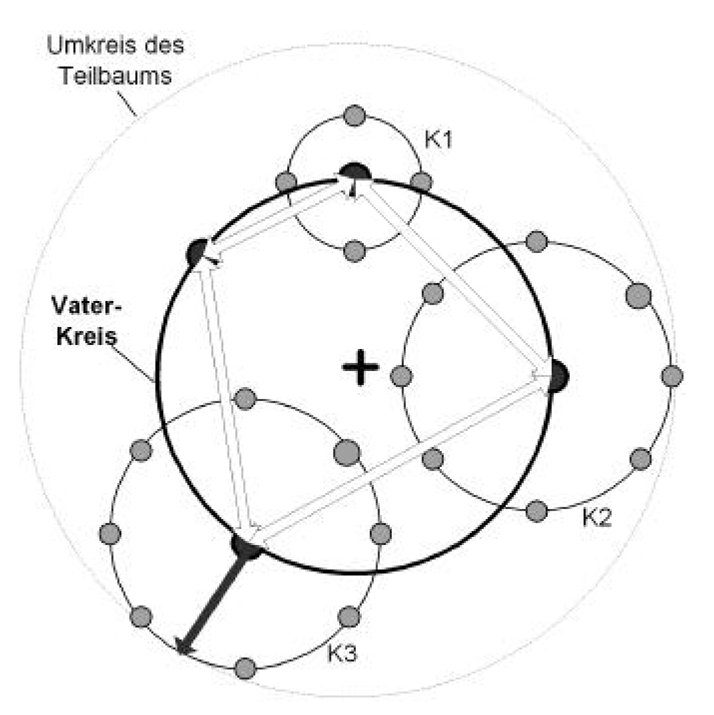



**Abbildung 17-4: Platzbedarf von Teilbäumen**

In Anhang ## befindet sich die Datei „Write.cpp“ mit dem Sourcecode zur Berechnung der Koordinaten. Zuerst wird die Berechnung der relativen X,Y Koordinaten durchgeführt. Am Anfang werden die X,Y-Koordinaten der Blätter auf dem Vaterkreis bestimmt. Der Radius des Kegels wird im Feld „KindRadius“ des Vaterknotens abgespeichert.

Aus dem Platzbedarf des Vaterkreises und dem Platzbedarf der anderen Teilbäume des gleichen Niveaus werden die Koordinaten auf dem Kreis des nächst höheren Niveaus berechnet. Das setzt sich fort bis zum Root-Knoten.
Danach werden mit der Funktion „BerechneZ“ die absoluten Koordinaten der Szene berechnet. Der Funktion wird zur Berechnung der Z-Koordinate ein konstanter Wert für die Tiefe übergeben. Diese Konstante steht für den Z-Abstand der einzelnen Niveaus des Baumes. Beginnend mit dem Root-Knoten an Position (0,0,0) werden mit Hilfe des Z-Abstands und den relativen Koordinaten (bzgl. XY) die XYZ-Koordinaten aller Knoten der Szene berechnet.
Um nun die Knoten in die VRML-Datei zu schreiben, muß noch das Aussehen eines solchen Objekts definiert werden. Das geschieht mit Hilfe einer Prototypdefinition.

### 17.2.4 Definition des Prototyps

Der Szenenaufbau ist sehr komplex und darum wurde die Definition eines Prototyps vorgenommen. Erste Entwürfe der Szene und des Prototypen wurden von mir per Hand mit einem Texteditor erstellt. So entstand im Laufe der Entwicklung eine umfangreiche Definition des Prototyps, deren wichtigsten Teile nun erläutert werden.
Ein Prototyp besitzt ein Interface, in dem alle Felder und deren Default-Wert festgelegt werden (eingeschlossen in [ ... ]). „SF“ kennzeichnet Single-Value Felder und „MF“ Multi-Value Felder. Der Wert eines Feldes kann eine Zahl oder ein Vektor sein. Multi-Value Felder werden in eckige Klammern eingeschlossen und die Werte durch Leerzeichen getrennt eingefügt (siehe [VRM 97], [Har 96] S. 90).
Nach dem Interface folgt die eigentliche Definition der VRML-Szene.

```
PROTO Knoten[
  exposedField SFColor farbe .0 .0 .0      - Farbe
  exposedField MFString name []            - eind. Knotenname
  exposedField MFNode names []             - Bezeichnung im Menü
  exposedField SFString desc „“            - Beschreibung
  exposedField MFString url []             - URL
  exposedField MFString parameter []       - Zielframe der URL
  ]

Anchor{                           - Knoten, der eine URL lädt,
  ...                             wenn er angeklickt wird

    Billboard{                    - Gruppenknoten, richtet die Be-
        ...                       schriftung zum Betrachter aus

          LOD{                    - „Level of Detail“ stellt ver-
            range [10,30,80]      schieden große Schrift dar,
            level [...]           abhängig von der Entfernung
          }                       des Betrachters
    ...
  description IS desc             - Beschreibung des Anchor-Knoten
  url IS url                      - URL des Anchor-Knoten
  parameter IS parameter          - Target der URL (welcher Frame)
}
```

Der „Anchor“ Knoten ist ein Gruppenknoten. Jede Teilszene, die innerhalb des Anchor Knoten definiert wird, kann beim Anklicken mit der Maus eine URL Adresse laden. Über den Wert „Parameter“ wird das Target, also der Zielframe, angegeben, mit dem Feld „url“ wird die Adresse der zu ladenden HTML-Seite festgelegt und „description“ enthält den Text für die Statuszeile.
Zu jedem Knoten wird der zugehörige Text ausgegeben. Damit der Betrachter den Text aus einer beliebigen Betrachtungsrichtung lesen kann, ist der Text unterhalb eines Billboard Knotens eingefügt (siehe [VRM 97], [Har 96] S. 273). Mit der Angabe „AxisOfRotation 0,0,0“ dreht dieser Knoten sein Koordi-

natensystem so aus, daß die Z-Achse immer in Richtung des Betrachters zeigt, d.h. der Text wird immer zum Betrachter gedreht.
Zur besseren Textdarstellung wurde ein LOD Knoten (Level of Detail) eingefügt (siehe [VRM 97], [Har 96] S. 311). Damit ist es möglich, in Abhängigkeit von der Entfernung des Betrachters unterschiedliche Teilszenen darzustellen. Mit dem Feld „range“ können verschiedene Entfernungen eingestellt werden und das Feld „Level“ enthält die zugehörigen Detailstufen, die dargestellt werden sollen. Ist der Betrachter zu weit weg (>80 Einheiten), wird der Text ausgeblendet. Zwischen 80 E. und 30 E. wird der Text mit einem großen Font dargestellt und innerhalb 30 E. bis 10 E. mit einem kleineren Font. Ist der Betrachter zu nahe am Objekt (<10 E.), wird der Text wieder ausgeblendet.
Die genaue und ausführliche Definition befindet sich im Anhang #.

### 17.2.5 Einfügen der Links

Die Links zwischen den Objekten werden durch einen sogenannten „Extrusion“ Knoten in die Szene eingefügt. Diese Knoten bestehen aus der Angabe einer zweidimensionalen Grundfläche, die entlang eines Weges (Folge von X,Y,Z Koordinaten) auseinandergezogen wird. An beliebigen Stellen des Weges kann die Grundfläche skaliert und rotiert werden, um eine Vielzahl von 3D-Formen zu erzeugen (siehe [VRM 97], [Har 96] S. 296).
Die Grundfläche (2D-crossSection) besteht aus einem regelmäßigen Achteck. Die Berechnung des Weges (3D-Spine) vom Knoten 1 zum Knoten 2 geschieht mit der Funktion „Spine“ aus „Write.cpp“ (siehe Anhang#).
Die Koordinaten des Weges werden über eine Vektorgleichung (Punkt-Richtungsgleichung zwischen den beiden Knoten) ausgerechnet. Zuerst wird der Richtungsvektor aus den Komponenten von K1 und K2 berechnet:
R1=K2x-K1x; R2=K2y-K1y; R3=K2z-K1z.
Danach wird die Länge des Vektors berechnet, die zur Normierung der Pfeilspitze benötigt wird:
Betrag = sqrt( (pow(R1,2.0))+(pow(R2,2.0))+(pow(R3,2.0)) ).
Nun werden die Skalare für die Skalierungspunkte berechnet. Die Pfeilspitze beginnt 2 Einheiten vor dem Objekt auf die es zeigt und endet eine Einheit vor dem Objekt (da die Kugel einen Durchmesser von einer Einheit hat).
alpha = 1-2.01/Betrag; beta = 1-2/Betrag; gamma = 1-1/Betrag.
Damit sind alle Werte des Weges (Spine) berechnet:

```
„spine [
        K1x                 K1y                 K1z,
      K1x+alpha*R1        K1y+alpha*R2        K1z+alpha*R3,
        K1x+beta*R1         K1y+beta*R2         K1z+beta*R3,
        K1x+gamma*R1        K1y+gamma*R2        K1z+gamma*R3,
        K2x                 K2y                 K2z
]“
```

Die zugehörigen Skalierungsfaktoren sind fest vorgegeben:
„scale [ 1 1, 1 1, 5 5, 0 0, 0 0 ]“.

## *17.3 Erweiterungen und Aussichten*

Zur Verbesserung der Interaktionsmöglichkeiten, wäre eine stärkere Ankopplung der Menüaktivität an die VRML-Darstellung wünschenswert. Vorstellbar ist die automatische Positionierung der VRML-Szene, wenn ein Menüeintrag angewählt wird oder die Markierung von Menüeinträgen wenn sich der Benutzer in der 3D-Szene dem entsprechenden Objekt nähert.
Diese direkte, programmierbare Anbindung zwischen dem VRML-Viewer und dem WWW-Browser ist noch nicht im VRML-Standard Teil 1 der Spezifikation ISO/IEC 14772-1:1997 (siehe Kapitel 16) enthalten. Da WWW-Browser und VRML-Viewer zwei eigenständige Programme sind, ist ohne eine klar definierte Schnittstelle die Kommunikation untereinander nicht festgelegt.
Einen Ausweg bietet das sogenannte „External Authoring Interface“ das derzeit im VRML-Viewer „Cosmo Player“ integriert wird. Damit ist es dann möglich, einen VRML-Viewer, der innerhalb einer WWW-Seite dargestellt wird, über ein Java-Programm zu kontrollieren. Das ermöglicht einen Zugriff auf Knoten und Felder der VRML-Szene.

Erschwerend kommt hinzu, das in unserem WWW-Projekt die Darstellung im WWW-Browser über mehrere Frame-Instanzen organisiert ist. Der Zugriff zwischen den Frames müßte dann in das Java-Programm eingebettet werden, um dadurch den Zugriff zum VRML-Viewer zubekommen.
Da das „External Authoring Interface“ noch in der Entwicklung ist (es existieren bis jetzt einige Vorschläge für Zugriffsmodalitäten), können und müssen die Hersteller von WWW-Browsern das Interface nocht nicht unterstützen. Die Anfänge in der Umsetzungen sind stark abhängig von den einzelnen Programmkonfigurationen des Benutzers. Außer einigen aktuellen Versionen der WWW-Browser von Netscape und Microsoft existieren noch keine lauffähige Testversionen. Außerdem ist eine vollständige Java Implementierung auf dem Zielbetriebssystem notwendig.

## 17.4 Resümee

Mit dem Konvertierungstool „Crate 3D“ wurde eine Beispielanwendung zur dreidimensionalen Navigation auf einem WWW-Server erstellt.
Die Umsetzung der 2D- auf eine 3D-Navigation hilft dem Benutzer den Zusammenhang zwischen Systemaufbau und Systemverhalten des WWW-Servers besser zu erfassen und unterstützt ihn aktiv bei seinen kognitiven Prozessen.
Wie anhand der Kognitionswissenschaften gezeigt wurde, verbessert sich durch die im dreidimensionalen Raum angeordneten geometrischen Strukturen die Verarbeitung der Informationen, wodurch der Anwender eines solchen Servers bei seinen Wahrnehmungs- und Gedächtnisprozesse entlastet wird. Dadurch kann der Benutzer die visualisierten Informationen schneller und mit geringerem mentalen Aufwand verarbeiten.
Als Vision für zukünftige Erweiterungen wäre eine Navigation im 3D-Raum mittels einer Virtual Reality-Brille oder -Helm und Datenhandschuh denkbar. Solche visuellen und haptischen Interaktionsformen werden mit großer Wahrscheinlichkeit die Bedienungsformen zukünftiger Computergenerationen sein. Diese Möglichkeiten werden in Forschungseinrichtungen, wie z. B. der Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung, bereits angewendet, stehen der Allgemeinheit der Computerbenutzer allerdings noch nicht zur Verfügung.

# 18 Abbildungsverzeichnis

# 19 Literaturverzeichnis

[Ame 97] Ames, Andrea L. ; Nadeau, David R. ; Moreland, John L.:
VRML 2.0 sourcebook.
New York : John Wiley & Sons Inc., 1997

[And 96] Anderson, John R.:
Kognitive Psychologie : eine Einführung, 2. Auflage.
Heidelberg : Spektrum, Akademischer Verlag, 1996

[Ans 98] Ansorge, Peter ; Haupt, Uwe:
Ergonomie-Reviews und Usability-Testing als Beratungs- und Qualifizierungsinstrumente.
URL : http:// informatik.uni-bremen.de

[App 91] Apple Computer Inc. ; Cupertino, Calif.:
Human interface guidelines : the Apple desktop interface.
Reading, Mass. [u.a.] : Addison-Wesley Publishing Company, 1991

[Ben 96] Benesch, Hellmuth:
dtv-Atlas zur Psychologie, 5.Auflage.
München : Deutscher Taschenbuch Verlag, 1996

[Bie 87] Biederman, Irving:
Recognition by Components: A Theory of Human Image Understanding.
Psychological Review (1987), Nr. 94, S. 115-147

[Bra 89] Brandner, Sylvia ; Kompa, Ain ; Peltzer, Ulf:
Denken und Problemlösen : Einführung in die kognitive Psychologie.
Opladen : Westdeutscher Verlag, 1989

[Car 97] Carey, Rikk ; Bell, Gavin:
The annotated VRML 2.0 reference manual.
Reading, Mass. [u.a.] : Addison-Wesley Developers Press, 1997

[Den 91] Denert, Ernst :
Software-Engineering.
Berlin [u.a.] : Springer-Verlag, 1991

[Fis 86] Fischer, Gerhard ; Gunzenhäuser, Rul:
Methoden und Werkzeuge zur Gestaltung benutzergerechter Computer-systeme.
Berlin ; New York : de Gruyter, 1986

[Gör 99] Görner, Claus ; Beu, Andreas ; Koller, Franz:
Hrsg.: DIN, Deutsches Institut für Normung e.V.
Der Bildschirmarbeitsplatz : Softwareentwicklung mit DIN EN ISO 9241.
Berlin : Beuth-Verlag, 1999

[Hab 98] Haberland, N. ; Kanthak, S. ; Overmann, J. ; Schütz K.:
Wie funktioniert computerbasierende Spracherkennung?
c't magazin für computertechnik (1998), Nr.5, S. 120

[Hak 97] Haken, Hermann ; Haken-Krell, Maria:
Gehirn und Verhalten : unser Kopf arbeitet anders, als wir denken.
Stuttgart : Deutsche Verlags-Anstalt, 1997

[Har 96] Hartmann, Jed ; Wernecke, Josie:
The VRML 2.0 handbook : building moving worlds on the web.
Reading, Massachusetts [u.a.] : Addison-Wesley Publishing Company, 1996

[Hem 92] Hemmje, Matthias ; Böcker, Heinz-Dieter ; Thiel, Ulrich:
Expeditionen in Informationsräume: Zur Konzeption eines graphischen Informationssystems auf der Basis dreidimensionaler Visualisierungen.
(ISI '92 Proceedings of 3rd International Symposium for Information Science, Saarbrücken, November 1992)
In: Zimmermann, Harald H. ; Luckhardt, Heinz-Dirk ; Schulz, Angelika (Hrsg.):
Mensch und Maschine : Informationelle Schnittstellen der Kommunika-

tion.
Konstanz : Universitätsverlag, 1992, S. 94-101

[Hem 94] Hemmje, Matthias ; Kunkel, Clemens ; Willet, Alexander:
Eine graphische Benutzerschnittstelle für ein Volltext-Retrieval-System auf der Basis interaktiver dreidimensionaler Visualisierung, (GMD-Studien ; Nr. 232).
Sankt Augustin : Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung mbH, 1994

[Her 95] Hernegger, Rudolf:
Wahrnehmung und Bewußtsein : ein Diskussionsbeitrag zu den Neurowissenschaften.
Heidelberg : Spektrum, Akademischer Verlag, 1995

[ISO 93] ISO/IEC 10646-1993:
Information technology - Universal Multiple-Octet Coded Character Set.
International Organization for Standardization, 1993

[Kah 91] Kahle, Werner:
Taschenatlas der Anatomie : für Studium und Praxis.
Band 3 : Nervensystem und Sinnesorgane, 6. Auflage.
Stuttgart : Georg Thieme Verlag, 1991

[Kee 86] Keeton , William T. ; Gould, James L.:
Biological science, 4rd ed.
New York : W. W. Norton & Co., 1986

[Kei 79] Keidel, Wolf D. (Hrsg.):
Kurzgefaßtes Lehrbuch der Physiologie.
Stuttgart : Georg Thieme Verlag, 1979

[Lam 99] Lamers, Markus:

Diplomarbeit : Konzipierung eines Studienberatungssystems im WWW unter besonderer Berücksichtigung kognitionswissenschaftlicher Aspekte und Erkenntnisse.
Institut für Informatik der Technischen Universität Clausthal, 1999

[Lan 94] Langmann, Reinhard:
Grafische Benutzerschnittstellen : Einführung und Praxis der Mensch-Prozeß-Kommunikation.
Düsseldorf : VDI Verlag, 1994

[Mar 82] Marr, David:
Vision. A computational investigation into the human representation and processing of visual information.
San Francisco : Freeman and Co., 1982

[Mir 88] Miram, Wolfgang ; Scharf, Karl-Heinz (Hrsg.):
Biologie heute SII.
Hannover : Schroedel Schulbuchverlag, 1988

[Nei 67] Neisser, Ulric:
Cognitive Psychologie.
New York : Appleton-Century-Crofts, 1967

[Net 99] Netscape Communications Corporation:
JavaScript Reference 1.2.
URL : http://developer.netscape.com/docs/manuals/javascript.html

[Qui 95] Quinn, Clark N.:
Designing Cognitive Technology Design.
School of Computer Science, University of New South Wales, 1995
URL : http:// edutools.cityu.edu.hk/ctsoc/

[Reu 97] Reuter, Matthias:
Vorlesungsskript „Kognitionswissenschaften“.
Institut für Technische Informatik der TU Clausthal, 1997

[Ris 97] Risse, Thomas ; Hemmje, Matthias:

Entwurf und Implementierung einer VRML Bibliothek für ein objektrelationales Datenbanksystem auf der Basis des VRML 2.0 Standards. (GMD-Studien ; Nr. 324).
Sankt Augustin : GMD-Forschungszentrum Informationstechnik, 1997

[Rot 98] Rothe, Hans-Jürgen:
Vorlesungsskript „Einführung in die Arbeits- und Organisationspsychologie“.
Institut für Prozeß- und Produktionsleittechnik, TU Clausthal, 1998

[Sac 98] Sachse, Werner:
Vorlesungsskript „Sozialkompetenz“.
Institut für Maschinenwesen der TU Clausthal, 1998

[Sch 95] Schleich, Robert:
Visualisierung abstrakter Objekte und Beziehungen in einem interaktiven Graphiksystem.
Zürich : Philosophische Fakultät II der Universität Zürich, 1995

[Sch 98] Schneider, Wolfgang:
Software-Ergonomie.
URL : http:// www.sozialnetz-hessen.de/ergo-online/ Software/

[Shn 98] Shneiderman, Ben:
Designing the user interface : strategies for effctive human-computer-interaction. 3rd ed.
Reading, Massachusetts [u.a.] : Addison Wesley Longman, 1998

[Sie 96] Sieber, Stefan:
Diplomarbeit: Der Computer als Lernmedium.
Institut für Informatik der Technischen Universität Clausthal, 1996

[Sny 96] Snyder, Carolyn:
User Interface Engineering : Using Paper Prototypes to Manage Risk.
URL : http://world.std.com/~uieweb/

[Som 89] Sommerville, Ian:

Software Ingineering, Third Edition.
Wokingham, Mass. [u.a.] : Addison-Wesley Publishing Company,1989

[Str 97] Straub, Jürgen ; Kempf, Wilhelm ; Werbik, Hans (Hrsg.):
Psychologie, eine Einführung; Grundlagen, Methoden, Perspektiven.
München : Deutscher Taschenbuch Verlag, 1997

[Sza 98] Szaflarski, Diane M.:
How We See: The First Steps of Human Vision.
URL : http:// www.gene.com/AE/AE/AEC/CC/vision_background.html

[Ves 96] Vester, Frederic:
Denken, Lernen, Vergessen.
München : Deutscher Taschenbuch Verlag, 1996

[VRM 97] VRML Consortium Incorporated:
The Virtual Reality Modeling Language : International Standard
ISO/IEC 14772-1:1997.
URL : http://www.vrml.org/Specifications/VRML97/index.html

[Wel 89] Wellmann, Hans-Heinrich (Hrsg):
Computer in der Medizin.
Amsterdam : Time-Life Books B. V., 1989

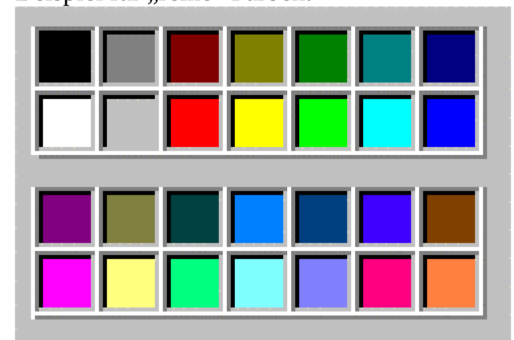
[Zap 89] Zapf, Dieter:
Handlungstheoretische Fehlerklassifikation in der Mensch-Computer
Interaktion.
Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie (1998), Nr. 33,
S. 178

[Züh 96] Zühlke, Detlef (Hrsg.):
Menschengerechte Bedienung technischer Geräte.
Tagung Kaiserslautern, 17./18. Sept. 1996
Düsseldorf : VDI Verlag, 1996

# Anhang A

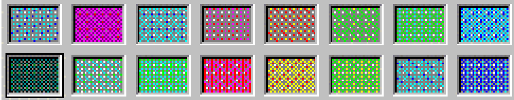
Quelle: [Sch 98]

**A1** Beispiel für „reine“ Farben:

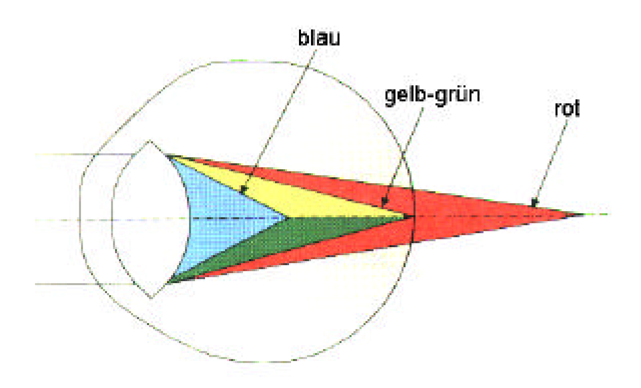


Beispiel für Farben mit Mustern:

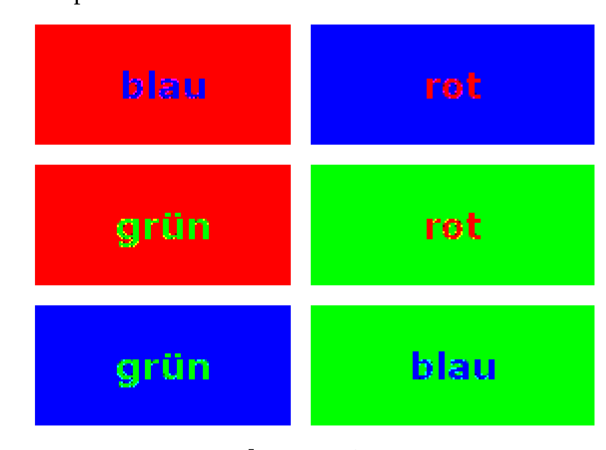




**A2** Unterschiedliche Brennpunkte verschiedener Farben:




**A3** Beispiele zu vermeidender Farbkombinationen:




## Anhang B

Alle genannten Normen sind im Beuth-Verlag erhältlich.
Recherche unter URL: http://www.beuth.de

**DIN EN ISO 9241-1, Ausgabe:1997-09**
Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten;
**Teil 1: Allgemeine Einführung (ISO 9241-1:1997);**
Deutsche Fassung EN ISO 9241-1:1997

**DIN EN 29241-2, Ausgabe:1993-06**
Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten;
**Teil 2: Anforderungen an die Arbeitsaufgaben; Leitsätze (ISO 9241-2:1992);**
Deutsche Fassung EN 29241-2:1993

**DIN EN 9241-3, Ausgabe:1993-08**
Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten;
**Teil 3: Anforderungen an visuelle Anzeigen (ISO 9241-3:1992);**
Deutsche Fassung EN 29241-3:1993

**DIN EN ISO 9241-7, Ausgabe:1998-12**

Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten;
**Teil 7: Anforderungen an visuelle Anzeigen bezüglich Reflexionen (ISO 9241-7:1998);**
Deutsche Fassung EN ISO 9241-7:1998

**DIN EN ISO 9241-8, Ausgabe:1998-04**
Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten;
**Teil 8: Anforderungen an Farbdarstellungen (ISO 9241-8:1997);**
Deutsche Fassung EN ISO 9241-8:1997

**DIN EN ISO 9241-10, Ausgabe:1996-07**
Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten;
**Teil 10: Grundsätze der Dialoggestaltung (ISO 9241-10:1996);**
Deutsche Fassung EN ISO 9241-10:1996

**DIN EN ISO 9241-11, Ausgabe:1999-01**
Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten;
**Teil 11: Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit - Leitsätze (ISO 9241-11:1998);**
Deutsche Fassung EN ISO 9241-11:1998

**(Norm-Entwurf) DIN EN ISO 9241-13, Ausgabe:1995-10**
Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten;
**Teil 13: Benutzerführung (ISO/DIS 9241-13:1995);**
Deutsche Fassung prEN ISO 9241-13:1995

**ISO 9241-14, Ausgabe:1997-06**
Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten
**Teil 14: Dialogführung mittels Menüs**

**(Norm-Entwurf) DIN EN ISO 9241-15, Ausgabe:1996-08**
Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten;
**Teil 15: Dialogführung mittels Kommandosprachen (ISO/DIS 9241-15:1996);** Deutsche Fassung prEN ISO 9241-15:1996

**(Norm-Entwurf) DIN EN ISO 9241-16, Ausgabe:1997-07**
Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten ;
**Teil 16: Dialogführung mittels direkter Manipulation (ISO/DIS 9241-16:1997);** Deutsche Fassung prEN ISO 9241-16:1997

**ISO 9241-17, Ausgabe:1998-08**
Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten
**Teil 17: Dialogführung mittels Bildschirmformularen**

**(Norm-Entwurf) DIN EN ISO 13407, Ausgabe:1998-02**
Benutzer-orientierte Gestaltung interaktiver Systeme (ISO/DIS 13407:1997); Deutsche Fassung prEN ISO 13407:1997

**(Norm-Entwurf) DIN EN ISO 10075-1, Ausgabe:1996-09**
Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung;
**Teil 1: Allgemeines und Begriffe (ISO 10075:1991);**
Deutsche Fassung prEN ISO 10075-1:1996

**(Norm-Entwurf) DIN EN ISO 10075-2, Ausgabe:1998-07**
Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung;
**Teil 2: Gestaltungsgrundsätze (ISO 10075-2:1996);**
Deutsche Fassung prEN ISO 10075-2:1996

**ISO 11428, Ausgabe:1996-12**
Ergonomie - Optische Gefahrensignale - Allgemeine Anforderungen, Gestaltung und Prüfung

**ISO 11429, Ausgabe:1996-12**
Ergonomie - System akustischer und optischer Gefahrensignale und Informationssignale

**(Norm-Entwurf) DIN 33414-2, Ausgabe:1995-09**
Ergonomische Gestaltung von Warten - Teil 2: Kognitive Faktoren

**(Norm-Entwurf) DIN 33414-3, Ausgabe:1995-06**
Ergonomische Gestaltung von Warten - Teil 3: Gestaltungskonzept

**ISO 9000, Teil 3:**
Leitfaden für die Anwendung von ISO 9001 auf die Entwicklung, Lieferung und Wartung von Software. Juni 1992

## Anhang C

Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit an Bildschirmgeräten

(Bildschirmarbeitsverordnung - BildscharbV)

§ 1

Anwendungsbereich

(1) Diese Verordnung gilt für die Arbeit an Bildschirmgeräten.

(2) Diese Verordnung gilt nicht für die Arbeit an

1. Bedienerplätzen von Maschinen oder an Fahrerplätzen von Fahrzeugen mit Bildschirmgeräten,

2. Bildschirmgeräten an Bord von Verkehrsmitteln,

3. Datenverarbeitungsanlagen, die hauptsächlich zur Benutzung durch die Öffentlichkeit bestimmt sind,

4. Bildschirmgeräten für den ortsveränderlichen Gebrauch, sofern sie nicht regelmäßig an einem Arbeitsplatz eingesetzt werden,

5. Rechenmaschinen, Registrierkassen oder anderen Arbeitsmitteln mit einer kleinen Daten- oder Meßwertanzeigevorrichtung, die zur unmittelbaren Benutzung des Arbeitsmittels erforderlich ist, sowie

6. Schreibmaschinen klassischer Bauart mit einem Display.

(3) Die Verordnung gilt nicht in Betrieben, die dem Bundesberggesetz unterliegen.

(4) Das Bundeskanzleramt, das Bundesministerium des Innern, das Bundesministerium für Verkehr, das Bundesministerium der Verteidigung oder das Bundesministerium der Finanzen

können, soweit sie hierfür jeweils zuständig sind, im Einvernehmen mit dem Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung und, soweit nicht das Bundesministerium des Innern selbst zuständig ist, im Einvernehmen mit dem Bundesministerium des Innern bestimmen, daß für bestimmte Tätigkeiten im öffentlichen Dienst des Bundes, insbesondere bei der Bundeswehr, der Polizei, den Zivil- und Katastrophenschutzdiensten, dem Zoll oder den Nachrichtendiensten, Vorschriften dieser Verordnung ganz oder zum Teil nicht anzuwenden sind, soweit öffentliche Belange dies zwingend erfordern, insbesondere zur Aufrechterhaltung oder Wiederherstellung der öffentlichen Sicherheit. In diesem Fall ist gleichzeitig festzulegen, wie die Sicherheit und der Gesundheitsschutz der Beschäftigten nach dieser Verordnung auf andere Weise gewährleistet werden.

## § 2

## Begriffsbestimmungen

(1) Bildschirmgerät im Sinne dieser Verordnung ist ein Bildschirm zur Darstellung alphanumerischer Zeichen oder zur Grafikdarstellung, ungeachtet des Darstellungsverfahrens.

(2) Bildschirmarbeitsplatz im Sinne dieser Verordnung ist ein Arbeitsplatz mit einem Bildschirmgerät, der ausgestattet sein kann mit

1. Einrichtungen zur Erfassung von Daten,

2. Software, die den Beschäftigten bei der Ausführung ihrer Arbeitsaufgaben zur Verfügung steht,

3. Zusatzgeräten und Elementen, die zum Betreiben oder Benutzen des Bildschirmgeräts gehören, oder

4. sonstigen Arbeitsmitteln, sowie die unmittelbare Arbeitsumgebung.

(3) Beschäftigte im Sinne dieser Verordnung sind Beschäftigte, die gewöhnlich bei einem nicht unwesentlichen Teil ihrer normalen Arbeit ein Bildschirmgerät benutzen.

§ 3

**Beurteilung der Arbeitsbedingungen**

Bei der Beurteilung der Arbeitsbedingungen nach § 5 des Arbeitsschutzgesetzes hat der Arbeitgeber bei Bildschirmarbeitsplätzen die Sicherheits- und Gesundheitsbedingungen insbesondere hinsichtlich einer möglichen Gefährdung des Sehvermögens sowie körperlicher Probleme und psychischer Belastungen zu ermitteln und zu beurteilen.

§ 4

**Anforderungen an die Gestaltung**

(1) Der Arbeitgeber hat geeignete Maßnahmen zu treffen, damit die Bildschirmarbeitsplätze den Anforderungen des Anhangs und sonstiger Rechtsvorschriften entsprechen.

(2) Bei Bildschirmarbeitsplätzen, die bis zum 20. Dezember 1996 in Betrieb sind, hat der Arbeitgeber die geeigneten Maßnahmen nach Absatz 1 dann zu treffen,

1. wenn diese Arbeitsplätze wesentlich geändert werden oder

2. wenn die Beurteilung der Arbeitsbedingungen nach § 3 ergibt, daß durch die Arbeit an diesen Arbeitsplätzen Leben oder Gesundheit der Beschäftigten gefährdet ist, spätestens jedoch bis zum 31. Dezember 1999.

(3) Von den Anforderungen des Anhangs darf abgewichen werden, wenn

1. die spezifischen Erfordernisse des Bildschirmarbeitsplatzes oder Merkmale der Tätigkeit diesen Anforderungen entgegenstehen

oder

2. der Bildschirmarbeitsplatz entsprechend den jeweiligen Fähigkeiten der daran tätigen Behinderten unter Berücksichtigung von Art und Schwere der Behinderung gestaltet wird, und dabei Sicherheit und Gesundheitsschutz auf andere Weise gewährleistet sind.

**§ 5**

**Täglicher Arbeitsablauf**

Der Arbeitgeber hat die Tätigkeit der Beschäftigten so zu organisieren, daß die tägliche Arbeit an Bildschirmgeräten regelmäßig durch andere Tätigkeiten oder durch Pausen unterbrochen wird, die jeweils die Belastung durch die Arbeit am Bildschirmgerät verringern.

**§ 6**

**Untersuchung der Augen und des Sehvermögens**

(1) Der Arbeitgeber hat den Beschäftigten vor Aufnahme ihrer Tätigkeit an Bildschirmgeräten, anschließend in regelmäßigen Zeitabständen sowie bei Auftreten von Sehbeschwerden, die auf die Arbeit am Bildschirmgerät zurückgeführt werden können, eine angemessene Untersuchung der Augen und des Sehvermögens durch eine fachkundige Person anzubieten. Erweist sich auf Grund der Ergebnisse einer Untersuchung nach Satz 1 eine augenärztliche Untersuchung als erforderlich, ist diese zu ermöglichen.

(2) Den Beschäftigten sind im erforderlichen Umfang spezielle Sehhilfen für ihre Arbeit an Bildschirmgeräten zur Verfügung zu stellen, wenn die Ergebnisse einer Untersuchung nach Absatz 1 ergeben, daß spezielle Sehhilfen notwendig und normale Sehhilfen nicht geeignet sind.

**§ 7**

## Ordnungswidrigkeiten

Ordnungswidrig im Sinne des § 25 Abs. 1 Nr. 1 des Arbeitsschutzgesetzes handelt, wer vorsätzlich oder fahrlässig entgegen § 6 Abs. 1 Satz 1 die dort bezeichneten Untersuchungen nicht oder nicht rechtzeitig anbietet.

## Anhang

## über an Bildschirmarbeitsplätze zu stellende Anforderungen

### Bildschirmgerät und Tastatur

1. Die auf dem Bildschirm dargestellten Zeichen müssen scharf, deutlich und ausreichend groß sein sowie einen angemessenen Zeichen- und Zeilenabstand haben.

2. Das auf dem Bildschirm dargestellte Bild muß stabil und frei von Flimmern sein; es darf keine Verzerrungen aufweisen.

3. Die Helligkeit der Bildschirmanzeige und der Kontrast zwischen Zeichen und Zeichenuntergrund auf dem Bildschirm müssen einfach einstellbar sein und den Verhältnissen der Arbeitsumgebung angepaßt werden können.

4. Der Bildschirm muß frei von störenden Reflexionen und Blendungen sein.

5. Das Bildschirmgerät muß frei und leicht drehbar und neigbar sein.

6. Die Tastatur muß vom Bildschirmgerät getrennt und neigbar sein, damit die Benutzer eine ergonomisch günstige Arbeitshaltung einnehmen können.

7. Die Tastatur und die sonstigen Eingabemittel müssen auf der Arbeitsfläche variabel angeordnet werden können. Die Arbeitsfläche vor der Tastatur muß ein Auflegen der Hände ermöglichen.

8. Die Tastatur muß eine reflexionsarme Oberfläche haben.

9. Form und Anschlag der Tasten müssen eine ergonomische Bedienung der Tastatur ermöglichen. Die Beschriftung der Tasten muß sich vom Untergrund deutlich abheben und bei normaler Arbeitshaltung lesbar sein.

**Sonstige Arbeitsmittel**

10. Der Arbeitstisch bzw. die Arbeitsfläche muß eine ausreichend große und reflexionsarme Oberfläche besitzen und eine flexible Anordnung des Bildschirmgeräts, der Tastatur, des Schriftguts und der sonstigen Arbeitsmittel ermöglichen. Ausreichender Raum für eine ergonomisch günstige Arbeitshaltung muß vorhanden sein. Ein separater Ständer für das Bildschirmgerät kann verwendet werden.

11. Der Arbeitsstuhl muß ergonomisch gestaltet und standsicher sein.

12. Der Vorlagenhalter muß stabil und verstellbar sein sowie so angeordnet werden können, daß unbequeme Kopf- und Augenbewegungen soweit wie möglich eingeschränkt werden.

13. Eine Fußstütze ist auf Wunsch zur Verfügung zu stellen, wenn eine ergonomisch günstige Arbeitshaltung ohne Fußstütze nicht erreicht werden kann.

**Arbeitsumgebung**

14. Am Bildschirmarbeitsplatz muß ausreichender Raum für wechselnde Arbeitshaltungen und -bewegungen vorhanden sein.

15. Die Beleuchtung muß der Art der Sehaufgabe entsprechen und an das Sehvermögen der Benutzer angepaßt sein; dabei ist ein angemessener Kontrast zwischen Bildschirm und Arbeitsumgebung zu gewährleisten. Durch die Gestaltung des Bildschirmarbeitsplatzes sowie Ausle-

gung und Anordnung der Beleuchtung sind störende Blendwirkungen, Reflexionen oder Spiegelungen auf dem Bildschirm und den sonstigen Arbeitsmitteln zu vermeiden.

16. Bildschirmarbeitsplätze sind so einzurichten, daß leuchtende oder beleuchtete Flächen keine Blendung verursachen und Reflexionen auf dem Bildschirm soweit wie möglich vermieden werden. Die Fenster müssen mit einer geeigneten verstellbaren Lichtschutzvorrichtung ausgestattet sein, durch die sich die Stärke des Tageslichteinfalls auf den Bildschirmarbeitsplatz vermindern läßt.

17. Bei der Gestaltung des Bildschirmarbeitsplatzes ist dem Lärm, der durch die zum Bildschirmarbeitsplatz gehörenden Arbeitsmittel verursacht wird, Rechnung zu tragen, insbesondere um eine Beeinträchtigung der Konzentration und der Sprachverständlichkeit zu vermeiden.

18. Die Arbeitsmittel dürfen nicht zu einer erhöhten Wärmebelastung am Bildschirmarbeitsplatz führen, die unzuträglich ist. Es ist für eine ausreichende Luftfeuchtigkeit zu sorgen.

19. Die Strahlung muß - mit Ausnahme des sichtbaren Teils des elektromagnetischen Spektrums - so niedrig gehalten werden, daß sie für Sicherheit und Gesundheit der Benutzer des Bildschirmgerätes unerheblich ist.

**Zusammenwirken Mensch - Arbeitsmittel**

20. Die Grundsätze der Ergonomie sind insbesondere auf die Verarbeitung von Informationen durch den Menschen anzuwenden.

21. Bei Entwicklung, Auswahl, Erwerb und Änderung von Software sowie bei der Gestaltung der Tätigkeit an Bildschirmgeräten hat der Arbeitgeber den folgenden Grundsätzen insbesondere im Hinblick auf die Benutzerfreundlichkeit Rechnung zu tragen:

21.1 Die Software muß an die auszuführende Aufgabe angepaßt sein.
21.2 Die Systeme müssen den Benutzern Angaben über die jeweiligen Dialogabläufe unmittelbar oder auf Verlangen machen.
21.3 Die Systeme müssen den Benutzern die Beeinflussung der jeweiligen Dialogabläufe ermöglichen sowie eventuelle Fehler bei der Handhabung beschreiben und deren Beseitigung mit begrenztem Arbeitsaufwand erlauben.

21.4 Die Software muß entsprechend den Kenntnissen und Erfahrungen der Benutzer im Hinblick auf die auszuführende Aufgabe angepaßt werden können.
22. Ohne Wissen der Benutzer darf keine Vorrichtung zur qualitativen oder quantitativen Kontrolle verwendet werden.

**Quelle: [Sch 98]**

# 20 Begriffsbestimmung der Kognitionswissenschaften

Der Begriff der **Kognition** kommt vom lateinischen **cognitio** und bedeutet Kenntnis bzw. Erkenntnis, woraus folgt, daß die **Kognitionswissenschaften** zu beschreiben versuchen, wie der Mensch seine Umwelt wahrnimmt und aus diesen Erlebnissen Erkenntnisse gewinnt und anwendet. Erkenntnisse sind dabei als geistige Konstrukte zu verstehen, die zwar in der individuellen Aktivitätsstruktur des Nervensystems kodiert sind, sich aber auf einer davon abstrahierten Ebene auch überindividuell manifestieren können. Sie entsprechen damit Informationseinheiten, die sowohl im Individuum an sich als auch im Verbund von Individuen be- und verarbeitet werden können.

Die Kognitionswissenschaften versuchen diese Informationsverarbeitung durch die Kreierung von Modellen zu beschreiben und zu simulieren, wobei sie mehr oder minder komplexe natürliche oder künstliche **kognitive Systeme** in Betracht ziehen.

Die große Schwierigkeit der Kognitionswissenschaften liegt darin, daß eine eindeutige Begriffsbestimmung, sprich eine grundlegende Definition des Informationsbegriffes und damit des Wesens der Informationsverarbeitung bis heute noch nicht gelungen ist. Dies liegt wohl auch daran, daß die Kognitionswissenschaft eine relativ junge Wissenschaft ist, die sich interdisziplinär aus der Psychologie, der Neurologie, den Informationswissenschaften, der Kybernetik und der Physik in den letzten 20 Jahren entwickelt hat. Trotz oder wegen dieses jungen Alters haben die Kognitionswissenschaften bis heute ganz unterschiedliche Fachdisziplinen hervorgebracht, die sich grob in zwei Teilbereiche unter dem gemeinsamen Dach der **kognitiven Philosophie** unterteilen lassen, nämlich in einen mehr der Informatik zugewandten Teil, der versucht, **künstliche Erkenntnissysteme** zu kreieren und zu simulieren und in einen mehr den Neurowissenschaften zugewandten Teil, der zu ergründen versucht, welche geistigen Verarbeitungsprinzipien aus dem neuronalen Agieren des Nervensystems resultieren. Der der Informatik zugewandte Zweig der Kognitionswissenschaften beschäftigt sich daher mehr mit **künstlichen kognitiven Systemen**, während der mehr der Neurologie zugewandte Teil sich mehr mit dem

Agieren der **natürlichen** (sprich neuronal bezogenen) **Systeme** beschäftigt. Dieser Aufteilung folgend, kann man die verschiedenen Fachdisziplinen der Kognitionswissenschaften, wie in Abbildung 1 gezeigt, in zwei Sparten untergliedern. Die Pfeile zwischen den einzelnen Fachdisziplinen sollen dabei andeuten, wie die Ontogenese der Kognitionswissenschaften über die Zeit zustande gekommen ist.

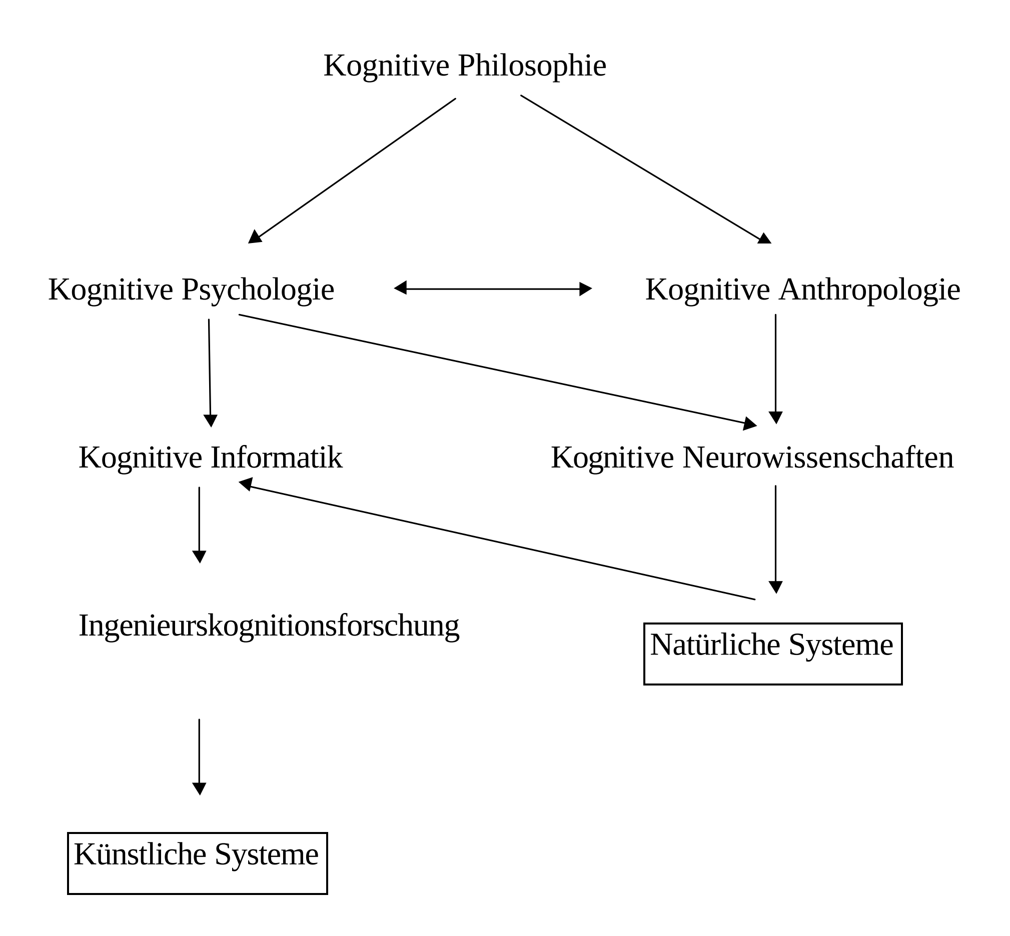



**Abbildung 20-1**: Die verschiedenen Fachdisziplinen der Kognitionswissenschaften

Die verschiedenen Fachdisziplinen kann man dabei wie folgt charakterisieren:

- **Kognitive Philosophie**
  Sie bearbeitet die grundlegenden konzeptionellen und theoretischen Probleme der Kognitionswissenschaften z.B. das Gehirn-Geist-Problem, den Status des menschlichen Geistes und die grundlegenden Definitionen der Begriffe Information und Bedeutung.

- **Kognitive Psychologie**

Sie ist die klassische Kognitionswissenschaft und beschäftigt sich mit Fragen der Kognition aus den verschiedenen Bereichen der Sinnesaufnahme und Sinnesverarbeitung und deren Zusammenhängen wie z.B. der kognitiven Repräsentation und der kognitiven Verarbeitungsprozesse (sprich dem menschlichen Gedächtnis, Denken und Problemlösen), sowie der kognitiven Genese und der Struktur der Lernprozesse.

- **Kognitive Anthropologie**

  Schwerpunkt der kognitiven Anthropologie ist die phylogenetische Entwicklung der menschlichen Kognition und versucht daher die Fragen zu klären, wann und wie es möglich war, daß die den Menschen auszeichnenden kognitiven Fähigkeiten wie Denken, Handeln und Sprache entstehen konnten und welche Vorgänge die "Menschwerdung" bewirkten.

- **Kognitive Informatik**

Sie versucht die maschinelle Simulation von Kognition in Form von künstlichen kognitiven Systemen (Künstliche Intelligenz), wobei sie anstrebt, daß sich diese Systeme wie Menschen verhalten und im gewissen Maße untereinander kommunizieren können.

- **Ingenieurskognitionsforschung**

  Das Wesen der Ingenieurskognitionsforschung ist es, eine effektive Gestaltung der Mensch-Maschine-Kommunikation zur Minimierung der Fehlbedienungsraten und zur Auslegung optimaler Expertensysteme zu gewährleisten.

- **Kognitive Neurowissenschaften**

  Die eingehende Betrachtung des menschlichen Geistes bedarf der Kenntnis von Vorgängen im Gehirn. Gegenstand der kognitiven Neurowissenschaften ist es daher, die Funktionsweise des Gehirns, im Hinblick auf die bei der Kognition ablaufenden neurophysiologischen Prozesse (speziell Lokalisation und Ablauf von neuronalen Prozessen) zu ergründen. Ein weiteres Ziel von ihr ist es, aus den allgemeinen Prozessen in den Neuronen bzw. neuronalen Netzen Erkenntnisse für die spezifischen Prozesse der kognitiven Informationsrezeption und kognitiven Produktion zu gewinnen.

Im Folgenden werden wir uns aber nicht mit den einzelnen Fachdisziplinen der Kognitionswissenschaften beschäftigen, sondern aus ihrem generellen Fundus die Begriffe und Definitionen ausschöpfen, die es uns ermöglichen, uns einen Überblick über die Erkenntnisse bezüglich der

Informationsverarbeitung des Menschen zu verschaffen. Als erstes seien daher die Forschungsmethoden der Kognitionswissenschaften näher beleuchtet, die man auch als die **Grundlagen der Kognitionsforschung** betrachten kann.

### *20.1 Die grundlegenden Forschungsmethoden der Kognitionswissenschaften*

Die wesentliche Grundlage der **Kognitionsforschung** sind Experimente anhand derer das menschliche Lern- und Aktionsverhalten studiert und verstanden werden soll. In diesen Experimenten werden Versuchspersonen, sog. **Operatoren** oder **Probanden**, dahingehend untersucht, wie sie neues Wissen erwerben und umsetzen, d.h. wie sie

- **Wissen repräsentieren**,
- **Wissen erwerben** und
- **Wissen wiedergeben**.

Der Proband wird in diesen Experimenten als ein kognitives System aufgefaßt, das aktiv Informationen aus der Umwelt aufnimmt, speichert, manipuliert und zum Teil zielgerichtet wiederverwendet [Weidenmann 1988], wobei die Kognitionswissenschaften in ihren Versuchen den Menschen als ein "Black-Box-System", welches als Gesamtsystem agiert betrachten. Durch spezielle Versuchsauslegungen wird dabei versucht, spezifische überindividuelle mentale Leistungen zu erfassen und zu interpretieren. Mithin versuchen die Kognitionswissenschaften, grundlegende Verhaltensmuster und die ihnen zugrundeliegenden globalen mentalen Organisationsstrukturen des Menschen zu erfassen, was dem Aufspüren und der Beschreibung der sogenannten grundlegenden und daher **überindividuellen Konzepte** entspricht. Der Begriff Konzept deutet dabei darauf hin, das den mentalen Leistungen eine Organisationsstruktur der kognitiven Systemparameter oder kognitiven Systemkomponenten zugesprochen wird, die erst in ihrer Gesamtheit den mentalen Akt hervorbringt.

#### 20.1.1 Kognitive Modellvorstellungen - mentale Modelle

Wie bereits erläutert arbeiten die Kognitionswissenschaftler mit Modellen des Black-Box-Systems „Menschen“. Die Verwendung von Modellen zur Beschreibung hochkomplexer Systeme ist dabei nichts Ungewöhnliches, jede Wissenschaftsdisziplin verwendet sie und jede in einer für sie typischen Art. So sind physikalisch-mathematische Modelle meist formelmäßig unterlegt, während chemisch-medizinische Modelle meist versuchen, die komplexen Zusammenhänge des Originals unter Einbezug der topologischen Eigenschaften, der dem Modell zugrunde liegenden Realität, zu erproben und zu verifizieren. Psychologische und kognitionspsy-

chologische Modelle hingegen sind nur selten mathematisch exakt beschreibbar oder graphisch visualisierbar. Zu komplex und zu unbekannt ist das „Black-Box-System“ Mensch, um in simplifizierter Form adäquat dargestellt zu werden. Um überhaupt zu allgemeingültigen Aussagen zu kommen, ist es daher nötig, einen strengen Determinismus der zu verwendenden Modelle einzuführen auf dem dann sukzessive die verschiedenen Eigenschaften des menschlichen mentalen Agierens formuliert werden können. Bevor dieser Determinismus aber eingeführt werden kann, muß man sich vergegenwärtigen, „aus welchem Stoff“ die zu beschreibende Realität ist und welcher Dynamik die Modelle unterliegen müssen.

#### *20.1.1.1 Die interne Repräsentation*

Bei allen kognitionspsychologischen Modellen nimmt man an, daß die Aufnahme von Informationen für die Entwicklung eines internen Abbildes der Information genutzt wird, wobei auch bereits gespeicherte Abbilder genutzt werden. Diese internen Abbilder nennt man **interne Repräsentation** eines Erlebnisses. Die Integration bereits gespeicherter Abbilder und die Entwicklung der internen Repräsentationen setzt einen Konstruktionsprozeß voraus, wodurch wiederum die Dynamik der internen Repräsentationen beschrieben wird.

Weiterhin wird angenommen, daß einzelne in einer Situation erkannte Komponenten einer internen Repräsentation ein speziell für sie geeignetes Abbild (eigenständiges) Modell aktivieren können, dessen Informationsinhalt bei der weiteren Verarbeitung der Gesamtsituation berücksichtigt wird. Daraus folgt aber, daß es eine zwar individuelle, jedoch im jeweiligen Individuum generell geltende Kodierung aller internen Repräsentationen geben muß.

Andererseits müssen diese hoch individuellen materiellen und geistigen Strukturen überindividuellen Mechanismen genügen, um über eine geeignete eventuell nachgelegte Kodierung die Kommunikation mit den Artgenossen zu ermöglichen. Wir müssen uns darüber im klaren sein, daß die Identifikation der individuellen internen Repräsentationen wahrscheinlich in nächster Zukunft nicht möglich sein wird, daß es andererseits aber möglich sein muß, eine geeignet Modelltheorie zu entwickeln, die es erlaubt, die allgemeingültigen Aktionsweisen der internen Repräsentationen zu „detektieren“.

#### *20.1.1.2 Definition einer allgemeinen Modelltheorie für interne Repräsentationen*

Eine allgemeingültige Modellvorstellung über das Agieren der internen Repräsentationen muß die überindividuellen Verhaltensweisen dieser geistigen Konstrukte beschreiben können, d.h. sie muß die Schnittmenge aller individuellen internen Repräsentationen erfassen und ihre

Struktur beschreiben. Eine diesen Optionen genügende Modelltheorie basiert auf den Arbeiten von Stachowiak und besagt, daß ein kognitives (wie auch nichtkognitives) Modell grundsätzlich die folgenden Merkmale beinhalten muß:

- das **Abbildungsmerkmal**
  D.h. Modelle sind (nicht unbedingt umkehrbare) Abbildungen von Originalen,
- das **Verkürzungsmerkmal**
  D.h. in einem Modell werden nicht alle Attribute des Originals abgebildet, sondern jeweils nur eine Untermenge, die das das Modell kreierende Momentum für relevant hält, und
- das **pragmatische Merkmal**
  D.h. wenn mehrere Modelle eines gleichen Originals existieren, sind diese nicht eindeutig zuordbar, sondern genügen bestimmten Bezügen. Die wichtigsten Bezüge sind dabei: der Zweckbezug, der Zeitbezug und der Individuenbezug, die sich wie folgt beschreiben lassen:
  - Der **Zweckbezug**: der allgemeinste Zweck eines Modells stellt die Erkenntnisgewinnung anhand des Modells und die durch ein Modell ermöglichte Kommunikation dar, während
  - der **Zeitbezug**: Modelle sind immer im Verbund mit dem momentan Erlebten, also der temporären Situation des Modellbilders zu sehen,
  - der **Individuenbezug**: nicht alle Modelle sind für alle Individuen von gleichem Nutzen; entscheidend ist die subjektive Wahrnehmung des zu modellierenden Originals durch den Modellkonstrukteur und dessen individuelle Kompetenz, das Wahrgenommenen und Verstandene in einem Modell abzubilden.

Die hier definierte Bezugsabhängigkeit birgt dabei die Problematik in sich, daß man streng zwischen dem Zweck- und dem Individuenbezug unterscheiden muß. So stellt der Zweckbezug die Erkenntnisgewinnung an Hand des Modells und die durch das Modell ermöglichte Kommunikation dar, d.h. er ist weitestgehend in sich objektiv, während der Individuenbezug die subjektive Wahrnehmung des zu modellierenden Originals durch das modellbildende Momentum und dessen individuelle Kompetenz, das Wahrgenommene und Verstandene im Modell abzubilden, beschreibt. Daraus folgt aber, daß für die notwendige modellspezifische Verallgemeinerung eines Originals die Objektivität des modellbildenden Momentums nötig ist, die aber beim Menschen auf Grund seiner Subjektivität nicht gegeben ist.

Durch diese Axiomatik wird es nun möglich, die Informationsverarbeitung des Menschen modellhaft zu beschreiben.

### *20.1.1.3 Anwendung der allgemeinen Modelltheorie auf die Informationsverarbeitung des Menschen*

Wir hatten am Anfang definiert, daß der Mensch in der Kognitionspsychologie als ein System aufgefaßt wird, das aktiv Informationen aus der Umwelt aufnimmt, speichert, manipuliert und zum Teil zielgerichtet weiterverwendet. Wendet man unter diesen Voraussetzungen die Axiome der allgemeinen Modelltheorie zur Beschreibung der menschlichen Informationsverarbeitung an, so ergeben sich die folgenden drei überindividuellen Grundannahmen für die Erstellung der hoch individuellen internen Repräsentationen:

- ***die Transformationsannahme***

  Sie besagt, daß Umweltreize mit der Wahrnehmung einer Umwandlung in einen mentalen Code unterzogen werden, wobei nur in diesem Code eine Weiterverarbeitung möglich ist.
- ***Konstruktionsannahme***

  Sie besagt, daß die innere Repräsentation von Umweltgegebenheiten keinem realen Abbild der physikalisch-chemischen Sinneserlebnisse entspricht, sondern eine Konstruktion bzw. Rekonstruktion eines das Sinneserlebnis beschreibenden Modells ist.
- ***Systemannahme***

  Sie besagt, daß aufgrund der parallel und voneinander abhängigen Wahrnehmung auf verschiedenen Sinnesebenen (z.B. Sehen und Hören) ein Wahrnehmungssystem entsteht, dessen Ergebnisse nicht allein vom Sinneserlebnis an sich abhängig ist, sondern auch durch die physische und psychische Konstitution beeinflußt wird.

Aus diesen Grundannahmen ergibt sich, daß die internen Repräsentationen des Weltgeschehens eines Individuums kognitive Konstruktionen sind, die auf einer Interaktion zwischen der Wahrnehmung (also den sinnesphysiologischen Leistungen) des Individuums und seinem Gedächtnis (also dem bedeutungserzeugenden konditionierten Netzwerk des zentralen Nervensystems) beruhen.

#### *20.1.1.4 Definition und Eigenschaften der mentalen Modelle*

Die internen Repräsentationen, die den eben genannten Voraussetzungen und Mechanismen genügen, spielen, wie leicht nachvollziehbar ist, in der Kognitionsforschung eine elementare Rolle. Man hat ihnen deshalb einen eigenen Namen gegeben und nennt sie **mentale Modelle**.

Mentale Modelle sind der individuelle Ausdruck des Verstehens eines Ausschnittes der realen Welt. Mentale Modelle können dabei ihre eigenen (individuellen) Schwerpunkte haben. Einige sind stärker verstehensorientiert, andere eher handlungsorientiert. Mit anderen Worten: jeder Mensch hat ein bestimmtes mentales Modell von bestimmten Sachverhalten, Ereignissen usw..

Dabei wird der Akt des **Verstehens** in den Kognitionswissenschaften als ein Prozeß aufgefaßt, in dem Kongruenz zwischen neuen Informationen und bereits organisiertem Wissen hergestellt wird, er entspricht damit also gerade einer erweiterten Konstruktion. Kongruenz in mentalen Modellen herstellen bedeutet im einzelnen, ein mentales Modell so lange zu verändern, bis die neuen Informationen widerspruchsfrei in das Weltbild des Individuums integriert sind. Diese widerspruchsfreie Integration entspricht dem **Erlebnis des Verstehens**. Das mentale Modell ist also sowohl Mittel als auch Produkt des Verstehens. Diese sicherlich nicht immer problemfreie Integration wird in den folgenden Kapiteln eine zentrale Rolle spielen, weshalb etwaige Verständnisprobleme ruhig erst einmal bei Seite geschoben werden können.

Die Verknüpfung neuer Sinneserlebnisse mit bestehenden in den mentalen codierten Wissensstrukturen unterliegt dabei den folgenden Prinzipien:

- wenn ein aktuelles Sinneserlebnis keinen Bezug zum Fundus der gegenwärtigen mentalen Modelle eines Umweltausschnittes aufweist, wird ein neues mentales Modell konstruiert.

- wenn ein neues Sinneserlebnis in wenigstens einem Aspekt mit einem gegenwärtigen mentalen Modell übereinstimmt, wird die gesamte darüber hinausgehende Information dieses Erlebnisses dem Modell zugefügt.

- wenn ein neues Sinneserlebnis Überschneidungen mit zwei bis dahin getrennten mentalen Modellen aufweist, werden beide Modelle zusammengefügt. Wenn ein neues Sinneserlebnis vollständig in das mentale Modell integriert ist, erfolgt eine Konsistenzprüfung. Diese fragt: ist die neue Einheit wahr, falsch oder nicht beurteilbar?

Aus diesen Prinzipien folgt, daß mentale Modelle als Grundlage der Handlungssteuerung dienen und daß Wissen durch ihren Aufbau erzeugt wird.

Die Vorstellung über den strukturellen Aufbau der mentalen Modelle läßt sich mit dem durch Bartlett geprägten Begriff des **Schemas** beschreiben. Nach Bartlett sind Schemata spezifische Wissensstrukturen, deren Aktivierung die Vernetzung neuer Information mit dem Vorwissen und damit die Speicherung der neuen Information an sich erleichtert. Sie repräsentieren Wissen über typische Zusammenhänge in einem Realitätsbereich, das sich aufgrund von Erfahrung entwickelt und wandelt. Nach Marks werden mentale Modelle auf der Grundlage schematischen Wissens konstruiert, da sie auf Analogiebeziehungen aufbauen. Sie selbst sind jedoch nicht schematisch, sondern Repräsentationen konkreter Vorstellungsinhalte, d.h. sie sind Instantiierungen eines oder mehrerer Schemata. Diese zunächst eher verwirrenden Begriffsdefinitionen werden uns später, wenn wir die Gedächtnisstrukturen und die Ablegung von neuem Wissen besprechen werden, noch intensiver beschäftigen und klarer werden. An dieser Stelle nehmen wir die hier genannten begrifflichen Bestimmungen erst einmal unkommentiert an und konsternieren, daß es durch sie möglich ist, die Dynamik des „materiellen“ Lernens mit der Dynamik der „geistigen“ mentalen Modelle zu verbinden.

Wird die Informationsverarbeitung des Menschen anhand mentaler Modelle erklärt, so ergeben sich für diese folgende Funktionen und Eigenschaften:

- **Bildhaftigkeit**

  Mentale Modelle sind nicht mit Vorstellungsbildern gleichzusetzen, da mentale Modelle auch abstrakte Relationen enthalten können, die in einer Sicht auf das Modell nicht wahrnehmbar sind.
- **Unvollständigkeit, Instabilität und Änderungsresistenz**

  Mentale Modelle sind zeitlich instabil, da Systemmerkmale vergessen werden können. Mit der Zunahme der Komplexität des Originals steigt die Tendenz der unvollständigen Modellbildung. Soll ein mentales Modell geändert werden, läßt es sich um so schwerer ändern, je besser es seine Funktion erfüllt. Es herrscht das Primat der Funktionalität.
- **Analogien-Bezug**

  Ähnlichkeiten zwischen Modell und Original erleichtern die Verknüpfung der Information mit vorhandenem Wissen. So werden Analogie-Beziehungen leichter erkannt.

- **Simulationsfähigkeit**
  Gedankliches Probehandeln oder Durchspielen von Ereignissen kann das mentale Modell so verändern, daß neue Modellzustände vorher nicht Bekanntes repräsentieren.

Die mentalen Modelle können dabei in die folgenden zwei unterschiedlichen Zustandsformen unterteilt werden:

- **Perzeptionsmodelle**
  durch sie werden Teile der Außenwelt als Folge von Wahrnehmungsprozeßen abgebildet
- **Kogigative Modelle** (**Kausalmodelle Abbildsysteme**)
  Durch sie werden neue Vorstellungen aufgrund der Interaktion von Wahrnehmungsinhalten und abstrakten Wissensbeständen abgeleitet.

In Abbildung 2 ist ein Schema aufgezeigt, daß die Rolle der mentalen Modelle bei der menschlichen Wissensverarbeitung aufzeigen soll. Aus diesem Schema ist ersichtlich, daß die mentalen Modelle rein auf der später noch genauer zu definierenden Bedeutungsebene agieren. Sie stellen somit die durch die materielle Struktur des zentralen Nervensystems evaluierte geistige Vorstellung des Weltgeschehens dar. Auch ist die Transformation der realen Welt in die ikonisierte Darstellung des sinnesmodialen Geschehens nicht gleich einer Eins-zu-Eins-Abbildung gleichzusetzen, sondern entspricht einer physiologischen Transformation. Bedingt durch das Weltwissens des Individuums, also auf Grund seiner Erfahrungen und Vorstellungen wird dann ein mentales Modell von dem sinnesmodialen Geschehen evaluiert, welches die Grundlage der weiteren mentalen Verarbeitung darstellt.

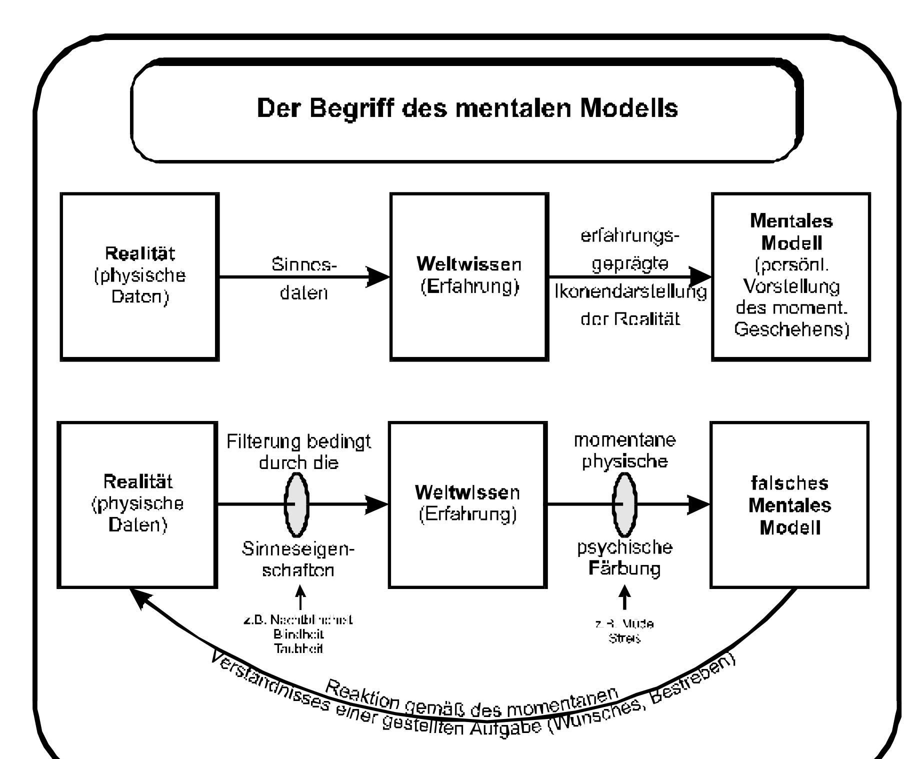



**Abbildung 20-2**

**Wir merken uns:**

Die Kognitionswissenschaften beschäftigen sich mit der Wissensrepräsentation, dem Wissenserwerb und der Wissenswiedergabe des Menschen. Sie versuchen durch Experimente herauszufinden, welche überindividuellen und damit allgemeinen Prinzipien der Wissensverarbeitung zu Grunde liegen. Der Mensch wird in den Kognitionswissenschaften als Black-Box-System angesehen, das über interne Repräsentationen die reale Umwelt in seiner Aktivitätsstruktur abzubilden vermag. Die an sich höchst individuellen internen Repräsentationen können durch die nichtindividuellen mentalen Modelle beschrieben werden, die eine zentrale Rolle in den Kognitionswissenschaften spielen.

Die mentalen Modelle entsprechen individuell geprägten Abbildern des realen, aber, bedingt durch die Grenzen der Sinne, eingeschränkten Geschehens. Sie zeichnen sich durch folgende Eigenschaften aus:

- *Mentale Modelle sind hypothetisch!*
  Mit ihnen sollen Leistungen menschlicher Wissensverarbeitung beschrieben und erklärt werden.
- *Mentale Modelle bilden Gegebenheiten der Umwelt in sowohl reduzierender als auch in differenziert ausgebildeter Weise ab!*

Es werden die relevanten Merkmale eines Originals in einem inneren Modell abgebildet. Welche Merkmale abgebildet werden, hängt vom Vorwissen ab und von der Funktion.

- *Mentale Modell dienen unterschiedlichen Funktionen!*

  Die wichtigsten sind, das verstehen von Sachverhalten und eine Grundlage bereitzustellen zur Planung und Steuerung von Handlungen. Nützliche mentale Modelle sind schwer zu verändern. Ist ein mentales Modell für eine bestimmte Funktion gebildet worden und wird dieser auch gerecht, so ist es nur schwer zu verändern, selbst wenn es eine Gegebenheit falsch oder unzureichend abbildet.

- *In einem mentalen Modell können Sachverhalte der Umwelt dynamisch simuliert werden!*

  Gedankliches Probehandeln oder Durchspielen von Ereignissen kann das mentale Modell so verändern, daß neue Modellzustände vorher nicht Bekanntes repräsentieren.

- *Mentale Modelle sind anschaulich!*

  Mentale Modelle können unvollständig sein und zeitlich instabil!

  Aufgrund von unregelmäßiger Benutzung kann es zum Vergessen von Systemmerkmalen kommen.

Weiterhin gilt es festzustellen:

Eine einheitliche Theorie mentaler Modelle gibt es nicht, aus diesem Grund ist eine Verallgemeinerung nicht sinnvoll, so wie eine Anwendung der aus den „mentalen Modelltheorien" gezogenen Schlußfolgerungen nicht in jedem Bereich sinnvoll ist. Jedoch ist unumstritten, daß die Erkenntnis über bestimmte mentale Modelle in einzelnen Bereichen dazu dienen können, Fehler bei der Benutzung von Maschinen zu vermindern und in der technischen Entwicklung Fehlerquellen zu vermeiden. Eine Reduzierung der Benutzerfehler erfolgt durch Verbesserung und Erweiterung des inneren Modells mittels Lernen. Lernen wird ermöglicht durch die Instabilität und Wandlungsfähigkeit mentaler Modelle.

Logische Konsequenz des Handelns anhand mentaler Modelle ist, daß sich Menschen mit gleichen mentalen Modellen besser verstehen und in ihrer Kommunikation weniger Mißverständnisse auftreten. Oberquelles These „ohne mentale Modelle können Menschen nicht handeln" ist ggf. zu pauschal, aber mit Sicherheit gilt, daß ohne gemeinsames mentales Modell zielgerichtetes Handeln einer Gruppe von Menschen nicht möglich ist.

## 20.2 Das Gedächtnis im Spiegel der Neurologie und der Kognitionswissenschaften

In diesem Kapitel sollen die heutigen Vorstellungen bezüglich der Aufnahme, der Speicherung und der Verarbeitung von Information, sowie deren Bezug zur Kontrolle und Steuerung von Handlungen, Entscheidungsfindung und der Lösung von Problemen durch den Menschen erörtert werden. Dieses Kapitel stellt somit die Integration der Sinnesphysiologie, der Neurologie und der Kognitionswissenschaften dar. Um diese Integration sauber durchzuführen und die zu diskutierenden Modellvorstellungen einsichtig zu gestalten, muß als erstes die Interaktion der materiellen Grundstruktur des zentralen Nervensystems und der geistigen Ebene erklärt werden. Wir wollen uns an dieser Stelle noch nicht mit den philosophischen Disputen der Vergangenheit und Gegenwart bezüglich des Materie-Geist-Problems beschäftigen, sondern uns auf einen, unserer Ansicht nach gerade zu revolutionierenden Ansatz von Helmuth Benesch stützen, der diesen in seinem Buch „Der Ursprung des Geistes“ [Benesch] formuliert hat und der in abgewandelter Form heute vielfach seine Bestätigung bei den Theorien der künstlichen neuronalen Netze und des neuronalen Preprozessings gefunden hat.

### 20.2.1 Das Träger-Muster-Beudeutungsmodell von Helmuth Benesch

Bei seinen Überlegungen die Interaktion des materiellen Trägers des Geistes mit der Umwelt zu erklären, definierte Helmuth Benesch die Trias **Träger-Muster-Bedeutung** als das grundlegende Modell, aus dem heraus der Zusammenhang von geistigen Handlungen und den ihnen zugeordneten materiellen Konfigurationen eines Nervensystems erklärt werden können. Grundgedanke dabei ist, daß auch das Nervensystem eine Nachricht auf einen materiellen Träger (den Verband aller Neuronen) aufprägt, die dann mittels eines geeigneten Enkodierungsverfahrens bedeutungsmäßig ausgelegt werden kann. Anders als bei der Nachrichtenübertragung z.B. mittels dieses Buches hier, führt Benesch aber noch eine Zwischenebene, nämlich die der Aktivitätsmuster der Nervensysteme, ein, wodurch der Zusammenhang zwischen der örtlichen Konfiguration des Nervengewebes, seiner durch die Konfiguration in ihrer Struktur definierten Aktivitätsmuster und der ihnen entsprechenden Bedeutungen definiert werden kann. Es ist wichtig zu bemerken, daß dieser Ansatz nicht nur auf die Erklärung der biologischen Informationsverarbeitung angewendet werden kann, sondern sich in unserer Welt in vielerlei Anwendungen manifestiert.

*Als illustrierendes Beispiel dieses Ansatzes soll das Senden von Rauchzeichen dienen. Die kontinuierliche Rauchsäule entspricht dabei dem materiellen Träger. Durch eine Decke werden mehr oder weniger große Rauchschwaden erzeugt, es entsteht ein (Aktivitäts-)Muster*

*des Trägers. Die Bedeutung hängt nun davon ab, was Sender und Empfänger als Inhalt der verschiedenen Muster vereinbart haben.*

Wie wir sehen, sind die Träger-, Muster- und Bedeutungsebene als streng parallel angeordnete Bestandteile eines Informationssystem anzusehen. Jede für sich allein kann zwar existieren, aber in dieser unserer Welt nicht als Informationsübertragungsmittel dienen. Die Idee von Benesch beschreibt somit ein allgemeines kybernetisches Modell von universalen informationsverarbeitenden und selbständig agierenden Systemen welches allgemein folgendermaßen formuliert werden kann [Reuter 1996]:

- Interpretierende Systeme, also speziell auch Mustererkenner, besitzen eine Struktur, die einem momentan zu klassifizierenden/interpretierenden Sensordatensatz eine Bedeutung zuordnen, welche eine Reaktion des Klassifikators initiiert. Dieser Vorgang wird dadurch vollzogen, daß die bedeutungszuweisende Struktur, die entweder von einem Bediener getragen wird oder in den Musterklassifikationsregeln des agierenden Systems festgelegt ist, den durch einen beliebigen Informationssatz erzeugten situationsspezifischen Aktivitätszustand des Systems interpretiert und eine dieser Interpretation zugeordnete vorbestimmte Handlung des Systems auslöst.
- Voraussetzung für diesen Mechanismus ist, daß es mittels einer eindeutigen Abbildung (Grammatik) dem System gelingt, seine Bedeutungsfindungen systemimmanent zu gestalten und über eine geeignete Mensch-Maschine-Schnittstelle dem jeweiligen Operateur in verständlicher Weise zu offerieren.
- Die Güte des Klassifikators wird dabei durch seine Situationsspezifität und damit durch seine "Intelligenz" bestimmt.

Ausgehend von diesem, sicherlich etwas komplizierten, theoretischen Ansatz können nun aber sogenannte **Kontextstrukturen** definiert werden, die das Verständnis und die Verarbeitung von Wissen, also die Evaluierung und Weiterverarbeitung von Klassifikations- und Umsetzungsregeln auf nicht numerischer Basis beschreiben. Der Begriff Kontextstruktur bringt dabei zum Ausdruck, das wir hier mit einem Konstrukt, einem Modell arbeiten, das auf allen drei Ebenen eine ebenenspezifische Erscheinungsform aufweist.
Als nächstes sollen diese ebenspezifischen Erscheinungsformen näher vergegenwärtigt und umrissen werden.

#### *20.2.1.1 Die neuronale Träger-Ebene*

Der Träger der menschlichen Informationsverarbeitung sind sicherlich die Neuronen und Gliazellen, bzw. an sich die Gesamtheit aller Körperzellen, da jede von ihnen ihren Beitrag zur topologischen und aktivitätsmäßigen Gestaltung des zentralen Nervensystems leisten kann. Andererseits, betrachtet man die Organisationsstruktur des zentralen Nervensystems, können aber

gerade im Neocortex auch die säulenförmigen Zusammenschlüsse von Nervenzellen, die sogenannten Module, als die eigentlichen materielle Grundlage der geistigen Prozesse betrachtet werden. Ob man nun mehr der atomistischen (also der auf das einzelne Neuron bezogenen) oder der globalen (also auf die einzelnen Funktionsmodulen bezogenen) Betrachtungsweise folgen soll, ist bis heute noch nicht geklärt, unstrittig hingegen ist, daß aber immer der Gesamtträger (also das zentrale Nervensystem) aktiv agiert.

Die topologische basierte Informationsverarbeitung wird dabei auf die schon bekannten zwei Arten ausgeführt, nämlich mittels:

- der axonalen Impulsweiterleitung
  also der Weiterleitung eines Aktionsstromes innerhalb der Zelle, nachdem von außen eine Depolarisierung der Zelle herbeigeführt worden ist und mittels der
- Herstellung von synaptischen Übertragungen
  also dem Aufbau von hemmenden oder erregenden synaptischen Übertragungen, wodurch eine Richtungsänderung bzw. -leitung ermöglicht wird.

Diese beiden Funktionen ermöglichen die adäquate Codierung und Weiterleitung der „neuronalen“ Nachrichten, wodurch wiederum Muster gebildet werden.

#### *20.2.1.2 Die neuronale Muster-Ebene*

Die Aktivitätsmuster des Gehirns und der Neuronen wurden im neurologischen Teil schon ausführlich besprochen und illustriert. An dieser Stelle ist nur interessant, daß man im Nervensystem zwei verschiedenen Ausprägungen der Muster gefunden hat, nämlich:

- rhythmische Muster
  ihre Merkmale sind aus der Physik her bekannt: Es sind Frequenz, Amplitude, Modulation und Interferenz. Diese vier bilden eine Einheit.
- figurale Muster
  bei ihnen interessiert, auf welchem Weg über Nervenzellen und Synapsen ein Reiz weitergeleitet wird.

Rhythmische und figurale Muster treten gemeinsam auf. Aufgrund der impulsartigen Arbeitsweise der Neuronen ist eine Reizleitung nämlich immer an einen Rhythmus gebunden. Sobald eine Reizübertragung auf eine andere Nervenzelle stattfindet, muß man von einem figuralen Muster sprechen. Diese stellen durch ihre Übertragung ein Richtungsmuster her.

Bei der figuralen Musterbildung unterscheidet man zudem:

- Summation (räumlich oder zeitlich von einer oder auch mehreren Zellen),
- Spezifikation (nur bestimmte Reize sind wichtig) und

- Musterwandel (Musterweg ist variabel).

Das entstehende Muster, was dann übertragen wird, hat eine Bedeutung: Es ist das Psychische.

#### *20.2.1.3 Die neuronale Bedeutungs-Ebene*

Man geht heute davon aus, daß die rhythmischen Muster, verbunden mit der Konzentration auf ein Ereignis, eine emotionale Erregungsbedeutung haben, während die figuralen Muster eine kognitive Bedeutung repräsentieren. Gemäß dieser Vorstellung hängen also die Amplitude und die Frequenz eines Aktivitätsmusters von der Eindringlichkeit, der „Mächtigkeit", der korrelierten Sinneseindrücke ab (siehe sinnesphysiologischen Teil), während die figuralen Muster, sofern die Aufmerksamkeit auf sie gerichtet ist, (subjektives) Wissen repräsentiert. Diese beiden Bedeutungen (emotionale und kognitive) gründen sich dabei auf die **Bewußtseinsqualität**, die erst aus dem Zusammenspiel von Wahrnehmung und Wahrprägung resultiert, ansonsten bilden sie lediglich das „psychische Rohmaterial" und stellen somit nichtbewußte Informationskonstrukte dar. Im Kapitel „Bewußtsein" werden wir näher auf das Phänomen des Bewußtsein eingehen. An dieser Stelle merken wir uns nur, daß die bedeutungsmäßig unterlegten Hirnaktivitätsmuster ab einer bestimmten Mächtigkeit, sprich Dominanz 'bewußt' gedeutet werden können.

#### *20.2.1.4 Wechselwirkung von Träger-Muster-Bedeutung*

Wie soeben gezeigt wurde, ist die Reizverarbeitung, also auch das Denken, nicht auf eine einzige Nervenzelle beschränkt. Dazu gehören sehr viele Nervenzellen, die untereinander auf bestimmten Wegen Muster übertragen und erkennen. Die übertragenen Muster können sich gegenseitig beeinflussen, da die Axone nicht komplett isoliert sind, sondern Einschnürungen haben. Kommt es zu einer Reizweiterleitung, so werden die umliegenden Nervenzellen, quasi durch das Überspringen der elektromagnetischen Aktivität an diesen nichtisolierten Stellen mit beeinflußt. Aus dem Netzwerkmuster, auf dem feste Bahnen genutzt werden, können so, ab einer bestimmten Aktivität, neue Wege und damit neue in ihrer Bedeutung modifizierte Aktivitätsmuster entstehen. Diesen Vorgang nennt man auch **Interferenz**.

Eine Schädigung des Gehirns (z.B. Gehirnliaison durch einen Unfall) verändert gegenüber der ursprünglichen Situation im betroffenen Bezirk sowohl die Muster der Figuration als auch die eben besprochenen Interferenzen der Reizweiterleitung. Dies kann beispielsweise Defizite in den Sinneswahrnehmungen nach sich ziehen. Die Wahrnehmungen ändern sich, und damit ändern sich auch die ihnen zugemessenen Bedeutungen.

Umgekehrt kann sich durch die Bedeutung auch der Träger ändern. Sammeln wir Erfahrungen, so findet eine **Wahrprägung** statt, in deren Folge sich die Synapsenübergänge der Nervenzellen verändern - es kommt zur Umgestaltung der figuralen Muster, da sich die Übergangswiderstände der Nervenübergänge ändern. Dies geschieht, indem längere Zeit aufrechterhaltene figurale Muster einer bestimmten Frequenz zu einer Verbreiterung oder Aufzweigung der Synapsen führen.

**Wir merken uns:**

Mit Hilfe des Trias-Kontext **Träger-->Muster-->Bedeutung** können die Gehirnaktivitäten anhand nicht mathematischer Modelle entweder auf das einzelne Neuron oder den gesamten Nervenverbund bezogen beschrieben werden, wenn folgendes Modell zu Grunde gelegt wird:

- der materielle Träger des Informationssystems „Nervensystem“, bedingt durch die von der Umwelt aufgenommene sensorielle Information der Sinnesorgane, ein Aktivitätsmuste, das aufgrund der erfahrungsbedingten, (kodierten) niedergelegten Reaktionsstruktur streng situationsspezifisch ist und welches einer bestimmten Bedeutung entspricht.

Der Inhalt und die Veränderung der Trias „Träger-Muster-Bedeutung“ nennt man Gedächtnis.

### 20.2.2 Das Gedächtnis

Nach dem momentanen Stand der Forschung entspricht das **Gedächtnis** einer durch Erfahrung und genetischer Vorgabe geprägten Struktur des gesamten Gehirns. Es ist somit nicht streng lokalisierbar. Je nach Gedächtnisinhalt werden verschiedene Gehirnregionen, sprich spezifische und unspezifische Hirnregionen mehr als andere aktiviert. Daneben gibt es im unteren (älteren Gehirn) Teile, meist nicht bewußtseinstragende Gedächtnisstrukturen, die immer aktiviert sind, wie z.B. die Formatio Recticularis, das limbische System, alle vegetativen Zentren, usw..

Das Gedächtnis ermöglicht es einem Individuum, erlebte Situationen, evaluierte Handlungsstrategien und elementare Steuerungsmechanismen zu speichern und bei Bedarf sich zu vergegenwärtigen. Zudem kann der Mensch mittels des Gedächtnisses rein geistige Konstrukte entwerfen und abspeichern, die ihm z.B. die Evaluation zukünftiger Handlungsstrategien auch auf bisher noch nicht erlebte Situationen ermöglicht. Das **konditionierungsfähige Gedächtnis** ist daher ein individuelles Werkzeug, das es einem Individuum ermöglicht, seine Überlebenschancen zu maximieren. Das **genetisch vorgegebene Gedächtnis** ermöglicht es hingegen, daß die lebensnotwendigen Steuerungsmaßnahmen des Organismus (Atmung, Stoffwechsel, Herzschlag, usw.) weitestgehend autonom aufrechterhalten werden.

#### *20.2.2.1 Das Mehr- Speicher-Modell des Gedächtnisses*

Wie psychologische und kognitionswissenschaftliche Experimente an Tieren und Menschen zeigen, kann man das Gedächtnis in verschiedene Aktivitäts- und Speicherungsstrukturen unterteilen. Das wohl gängigste Modell des Gedächtnisses geht von drei unterschiedlichen Erscheinungsformen des Gedächtnisses aus, die da sind:

- das **Ultrakurzzeitgedächtnis** (**UKZ** bzw. **SG**),
- das **Kurzzeitgedächtnis** (**KZG**) und
- das **Langzeitgedächtnis** (**LZG**).

Jedes dieser „Teil-Gedächtnisse“ bewirkt dabei eine unterschiedliche Verarbeitung der einlaufenden Information und besitzt eine es charakterisierende Speicherkapazität und Speicherungsdauer. Natürlich können diese unterschiedlichen Gedächtnisstrukturen im Hirn nicht als topologisch getrennte Aktivitätszentren lokalisiert werden, repräsentieren sie ja nur die verschiedenen Aktivitätsmodi des Gesamtsystems Gedächtnis. (Das bei Hirnläsionen unter Umständen Gedächtnisleistungen eingeschränkt werden, liegt denn auch nicht etwa daran, daß „Speicherplatz verloren gegangen“ ist, sondern daran, daß die physiologische Ausprägung und temporär nötige Stabilisierung der unterschiedlichen Aktivitätsstati der Hirnregionen, die in die Gedächtnisbildung involviert sind, nicht mehr gewährleistet werden kann.)

In Abbildung 3 ist das Mehrspeichermodell des Gedächtnisses gezeigt. Auf der obersten Ebene stehen die externen Stimuli, also die Gesamtheit aller in das Hirn einlaufen Informationen, sprich Nervenimpulse. Die Verarbeitung dieser Informationen geschieht dann sukzessiv auf den drei Erscheinungsebenen des Gedächtnisses, die im Folgenden an Hand dieser Abbildung näher beschrieben werden sollen. Viele der rechts tabellarisch aufgeführten Begriffe werden erst später definiert und erläutert werden, wir merken uns an dieser Stelle nur die prinzipielle funktionale Strukturierung des Gedächtnisses.

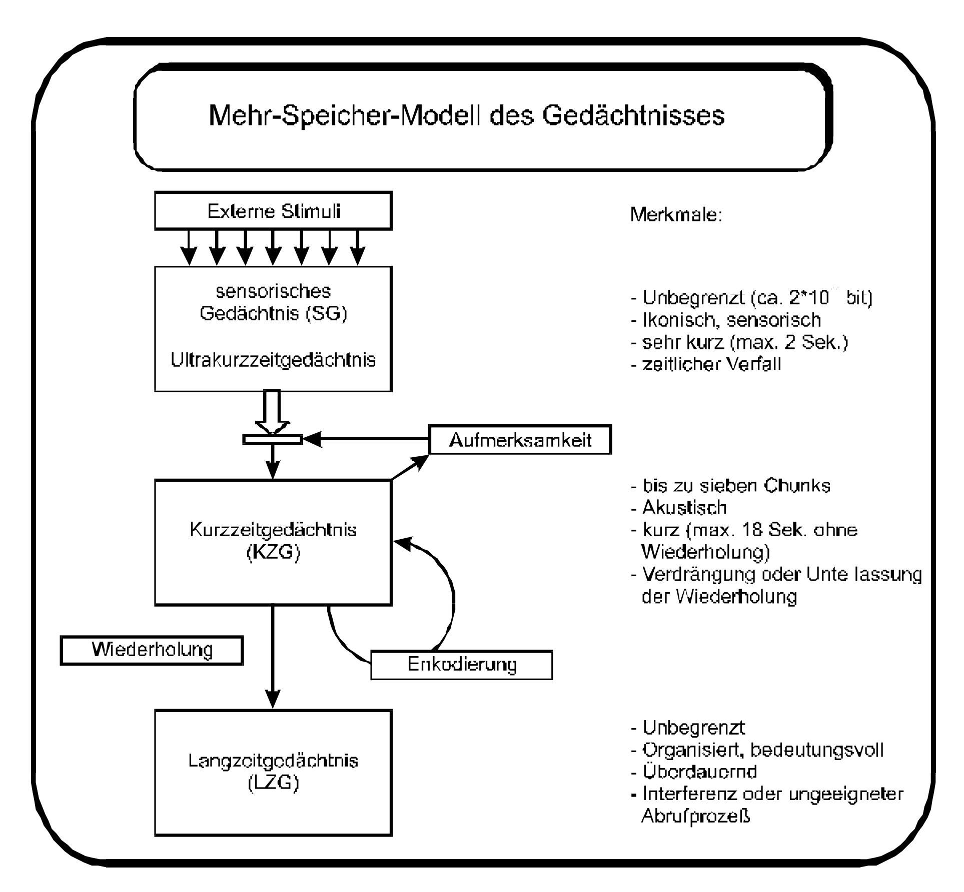



**Abbildung 20-3**

### *20.2.2.2 Das Ultrakurzzeitgedächtnis*

Alle durch die Sinneswahrnehmungen und afferenten Nerven im Gehirn einlaufenden Nervenimpulse sind zunächst einmal in Form von elektrischen Strömen und Schwingungen im Gehirn präsent. Die Gesamtheit aller Aktionspotentiale, die einer Informationsmenge von ca. $10^{11}$ Bit/Sek. entspricht, bildet so ein komplexes spezifisches und unspezifisches Aktivitätsmuster, welches den momentanen Zustand des zentralen Nervensystems und des ihn umgebenden/tragenden Körpers vermittelt. Dieses Aktivitätsmuster hat ein natürliches Abklingverhalten, welches bewirkt, daß nach max. 2 Sek. diese Repräsentation des Weltgeschehens unwiederbringlich verloren gegangen ist, wenn die nachfolgenden Gedächtnisformen diese nicht stabilisieren, sprich weiterverarbeiten.

Das Ultrakurzzeitgedächtnis hat also keine stoffliche, sondern eine elektrische Natur.

Da es sich um Verarbeitung sensorischer Informationen handelt, nennt man es auch sensorisches Gedächtnis, wobei man näher betrachtet zwischen einem visuellen und auditiven sensorischen Gedächtnis zu unterscheiden hat.

#### 20.2.2.2.1 Das visuelle sensorische Ultrakurzzeitgedächtnis

Durch die experimentelle Anordnung der sog. Teilberichtsverfahren fand man heraus, daß es ein **visuelles sensorisches Gedächtnis** gibt, das Informationen einer visuellen Reizvorlage aufzunehmen vermag. Um die Kapazität der ersten Stufe des Gedächtnisses, des visuellen Ultrakurzzeitgedächtnisses, zu messen, wurden in diesen Experimenten den Probanden 9 - 20 Buchstaben kurzzeitig dargeboten und es wurde erhoben, wie viele Elemente (Items) aus der Vorlage behalten werden konnten. Wie die Reihenuntersuchungen zeigten, können Menschen drei bis fünf bzw. höchstens sechs Items kurzfristig behalten und wiedergeben. Stehen die Items in einem logischen Zusammenhang oder können auf Grund einer (individuellen) mentalen Modellvorstellung zusammengefaßt werden, erhöht sich ihre Zahl. Dabei gaben die meisten Probanden zwar richtigerweise an, mehr Elemente als benennbar gesehen zu haben, doch sind sie nicht in der Lage, die Items richtig wiederzugeben.

In der Methodik dieser Aufgabe nahm Sperling (im Jahr 1960) eine wichtige Änderung vor. Er bot eine Anordnung aus drei Zeilen zu je vier Buchstaben dar. Unmittelbar nach der Darbietung dieser Reizvorlage erhielten die Probanden die Anweisung, nur die Elemente einer der drei Zeilen wiederzugeben, wobei diese Anweisung aber nicht verbal, sondern durch die Präsentation von drei unterschiedlichen Tönen (ein hoher Ton für die oberste ein mittlerer für die mittlere und ein tiefer Ton für die unterste Zeile) dargeboten wurde. Unmittelbar nach der Präsentation der Buchstabenfolgen konnten die Versuchspersonen im Mittel etwas mehr als drei Buchstaben richtig wiedergeben. Da die Versuchspersonen aber im Vorweg nicht wußten, welche der drei Reihen abgefragt werden würde, mußte die Gesamtzahl der verfügbaren Items drei Zeilen mal drei Items, also neun Items, sein. Aus diesen Ergebnissen läßt sich schließen, daß die Probanden die drei Buchstaben jeweils an ein übergeordnetes Item geknüpft hatten, welches hier der topologischen Position auf der Reizvorlage entsprach.

Wie die Versuchsergebnisse ferner zeigten, konnten um so weniger Buchstaben richtig berichtet werden, je später die Anweisung zur Wiedergabe nach dem Ende der Reizdarstellung dargeboten wurde. Vergingen einige Sekunden zwischen dem Ende der Präsentation und der Wiedergabeaufforderung, so konnten die Versuchspersonen nur noch drei bis fünf Buchstaben richtig wiedergeben, d.h. aber daß nach dieser Zeit die topologische Struktur der Reizvorlage nicht mehr als strukturierendes Item verwendet werden konnte und nur noch die Information im Ultrakurzzeitgedächtnis vorhanden war, die in der verfügbaren Zeit in die Form einer dauerhafteren Kodierung/Abspeicherung überführt werden konnte.

Nach Neisser [Neisser] bezeichnet man die dieses kurzzeitig visuelle Gedächtnis als **Ikon**. Die Funktion des visuellen Ikons ist also, auch nicht zusammenhängende Informationskomplexe für eine kurze Zeitspanne verfügbar zu halten, um sie analysieren zu können, seine Existenz verdankt es der temporär limitierten Aktivitätserhaltung der sensorisch induzierten Aktivitätsmuster. Das die rein elektromagnetisch basierten aktivitätskodierten Präsentationen durch eine aktivtäskodierte Interferenz, sprich Überlagerung anderer elektromagnetischer Felder, veränderbar sind, scheint logisch. Und wirklich konnte nachgewiesen werden, daß die Präsentation von nachfolgenden Informationsinhalten, sofern sie in ihrer Struktur die alten Aktivitäten nicht resonatorisch unterstützen, alte Informationseinheiten schneller verblassen läßt.

#### 20.2.2.2.2 Das auditive oder echotische sensorische Ultrakurzzeitgedächtnis

Hinweise auf ein ähnlich dem visuellen Gedächtnis strukturiertes **auditives sensorisches Gedächtnis**, ließen sich aus den gleichen Experimenten ableiten, nur wurde die dargebotene Information nicht visuell, sondern akustisch dargeboten. Ergebnis diese Versuche war, daß im auditiven Gedächtnis - wie im ikonischen Gedächtnis - mehr Information verfügbar sind, als berichtet werden können und die Mächtigkeit der berichteten Buchstabenfolgen dadurch erhöht werden kann, daß man die akustische Quelle der Buchstabenfolgen unterschiedlich plaziert (akustische Quelle rechts, Mitte links z.B.). Neisser hat dieses auditive Gedächtnis **echotisches Gedächtnis** genannt. Seine Struktur und Existenz entspringt dabei natürlich denselben Prinzipien, die dem visuellen System zu Grunde liegen; daß beide unabhängig von einander existieren, ist dabei gemäß den Fakten aus dem neurophysiologischen Teil offenkundig, werden hier doch über die spezifische Erregungsbahnen zwei unterschiedliche Hirnareale (und damit zwei topologisch getrennte Beritte) aktiviert. Ähnlich dem visuellen Ultrakurzzeitgedächtnis ermöglicht das echotische sensorische Gedächtnis, komplexe und sich über einen gewissen Zeitraum erstreckende akustische Informationen bearbeiten zu können. Vor allem die sprachliche Information kann dabei erst durch die Präsents dieser unmittelbaren Vergangenheit verarbeitet werden, da hier aus der Struktur des zeitlichen Ikons der globale Zusammenhang, also die eigentliche Bedeutung der akustischen Signatur, zu evaluieren ist. Als Merkbeispiel kann dabei die „sinnvolle" Ergänzung unvollständig gehörter Wörter angesehen werden.

**Wir merken uns:**

Die Informationen der afferenten Nervenbahnen werden in einer temporär begrenzten Gedächtnisstruktur, die man sensorisches Ultrakurzzeitgedächtnis nennt, gespeichert. Dieser Speichervorgang entspricht dem Aufbau von Hirnaktivitätsmustern in den spezifischen und unspezifischen Projektionsfeldern. Diese Aktivitätsmuster haben ein natürliches Abklingverhalten. Werden diese Aktivitätsmuster nicht resonatorisch verstärkt, so werden sie von den nachfolgenden Aktivitätsmuster interferenzmäßig gelöscht, was zu einem unwiederbringbaren Verlust der sensoriellen Information führt. Bisher wurden drei separat agierende Ultrakurzzeitgedächtnisformen untersucht, daß visuelle sensorische Ultrakurzzeitgedächtnis, das auditive/echotische Ultrakurzzeitgedächtnis und das takile Ultrakurzzeitgedächtnis. Alle drei haben die prinzipiell gleiche Struktur. Es ist anzunehmen, daß es weitere gleichartige Strukturen gibt und zwar wahrscheinlich so viele, wie es spezifische Projektionsfelder gibt.

#### *20.2.2.3 Das Kurzzeitgedächtnis*

Wie besprochen beginnt die Speicherung von Ikonen und Informationen mit kreisenden Gehirnströmen - die das UKG repräsentieren- die aber in keinem Fall länger als einige Sekunden aufrechterhalten werden können. Die Frage die sich nun erhebt ist, ob diese Ikonen als latent immer vorhandene kreisende Ströme mit einem immerwährenden Aktivitätsstatus im Gehirn in den temporär stabileren Gedächtnisstrukturen abgelegt werden, bzw. wenn nicht auf diese Art, auf welche andere Art die Speicherung und der spätere Zugriff, der ja nur einem erneuten Aufbau einer bedeutungsmäßig unterlegten Gesamtaktivitätsstruktur des Hirns entsprechen kann, erfolgt. Wenn eine Speicherung der Aktivitäten den permanenten Gedächtnisformen zu Grunde liegen würde, so müßten Elektroschocks, die ja alle Ströme durcheinanderbringen oder Unterkühlung des Gehirns, die die elektrische Aktivität des Gehirns gegen Null forcieren oder das Zerschneiden von Nervenfasern und damit der materiellen Struktur der „Stromnetze" Erinnerungsinhalte für immer auslöschen. Das ist aber nicht der Fall.

Längst ist einwandfrei bewiesen, daß eine einmal fest gespeicherte Erinnerung auch nach solchen Eingriffen voll erhalten bleibt. D.h. die aus den Aktivitätsstati evaluierten Ikonen müssen auf eine andere Art und Weise in ihre permanent verfügbare Form überführt werden. Diese Überführung, so zeigen Experimente, braucht Zeit. Bevor eine Ikone permanent gespeichert wird, kann sie durchaus noch zerstört werden, z.B. indem das zentrale Nervensystem in seiner Funktion gestört wird. So können Ikonen sowohl durch starke Schocks, wie sie z.B. bei Unfällen auftreten (man spricht dann von einer **Retrograden Amnesie** (= Amnesie für einen Zeitab-

schnitt vor dem auslösenden Ereignis)), als auch durch Eingriff in den Stoffwechsel der Nervenzellen zerstört werden. All diesen Eingriffen ist gemein, daß sie vor allem die Eiweißproduktion der Neuronen unterbinden. Im ersten Fall, da der Körper, wie beschrieben, nur noch die absolut lebenserhaltenden Maßnahmen aufrechterhält, im zweiten Fall, da die nötigen Bausteine bzw. die nötigen Analyseschritte zur Produktion der Eiweißmoleküle blockiert werden. Wie Experimente zeigen, benötigt das zentrale Nervensystem ca. zwanzig Minuten für diese proteinbasierte Überführung einer Ikone in einen dauerhaften Gedächtnisinhalt, den man auch **Gedächtnisspur** (der Ikone) nennt. Wie man ferner zeigen kann, werden im Rahmen dieser Proteinsynthese aber die ikonisierten sensorischen Eindrücke nicht einfach per se zu Gedächtnisspuren verarbeitet, sondern sie werden mehreren, zum Teil noch zu besprechenden, organisatorischen und informationslogistischen Operationen unterworfen, die in Summa einer Integration in bereits abgelegten und wieder aktivierbaren Aktivitätsstati entsprechen. Bezogen auf unsere Trias Träger-Muster-Bedeutung heißt dies, daß manche sensorischen Aktivitätsstati sich resonativ über längere Zeit aufrechterhalten können. D.h. sie aktivieren bestimmte Hirnareale die über das rectikuläre System sich gegenseitig stimulieren. Diese elektrische Aktivität bedingt eine gesteigerte Proteinsynthese bei den integrierten Neuronen. Die Neuronen befinden sich damit in einem stoffwechseltechnisch gesprochenen erhöhten Aktivitätsstatus. Kognitiv gesprochen entspricht dieser einem verarbeitungstechnisch höherwertigen Zustand der im UKZ gelagerten Ikonen. Die Summe aller Ikonen, die im diesem sich stabilisierenden Zustand befinden, nennt man **Kurzzeitgedächtnis (KZG)**. Das Kurzzeitgedächtnis als Überführungszustand der Ikonen ist, anders als das immer präsente UKZ in seiner Aktivität auch mental (also gewollt) beeinflußbar. Die „Materialisierung“ der Ikonen durch die Eiweißproduktion wird nach heutigen Vorstellungen im einzelnen wohl so vollzogen, daß die ständig in allen lebenden Zellen stattfindende Herstellung von **Ribonukleinsäure** (**RNA**) durch die elektrische Aktivität des UKZ beeinflußt wird. Dazu muß man wissen, daß laufend von bestimmten Genabschnitten im Zellkern „negative“ Abdrücke der Erbinformation erzeugt werden, die sich bald ablösen und weiter in die Zelle wandern. Diese „Negative“ der Erbinformation, eben die Ribonukleinsäure, hat die Funktion wie der Lochstreifen eines Computerprogramms das jeweilige Arbeitsprogramm überall in den Zellen zu steuern. Die Herstellung einer solchen RNA-Matrize dauert etwa 20 Minuten, also gerade so lange, wie eine Ikone im KZG existiert. An Hand der RNA bilden die Neuronen nun bestimmte Eiweißmoleküle, die sie für ihre permanente Erneuerung benutzen, d.h. aber, daß das Neuron durch die modifizierten Eiweißmoleküle auf einmal eine andere Struktur als vorher aufweist, was sich natürlich in einem modifizierten Aktionsverhalten

niederschlägt. Wandeln sich viele Neuronen auf diese Art und Weise, wird also die Trägerstruktur nachhaltig verändert, was wiederum zu einer nachhaltigen Aktivitätsstrukturveränderung und damit in Folge zu einer nachhaltig modifizierten Bedeutungsfindung führen wird. Das Nervensystem hat sich modifiziert, es hat also gelernt.

Es macht Sinn, daß die Geschwindigkeit der Proteinsynthese an sich zwar konstant ist, daß aber der Aktivierungsgrad der einbezogenen Neuronen bei der Gedächtnisspurbildung mit eingehen wird. So werden starke Sinneseindrücke auch „stärker", d.h. leichter aktivierbar in unser Gedächtnis integriert werden als subtilere Eindrücke - wobei letztere letztlich auch schwerer aktivierbar sein werden. Diese Tatsache wird uns immer wieder bewußt, wenn wir nach (für uns) uninteressanten Einzelheiten eines Erlebnisses gefragt werden. Wir wissen, daß wir es wissen, können es aber nicht formulieren - das bedeutungstragende Aktivitätsmuster ist für die Formulierung zu schwach oder zu instabil.

Dieses Faktum offenbart uns die Tatsache, daß das Kurzzeitgedächtnis als aktivierte Form des Gedächtnisses die eigentliche Arbeitsplattform für die Erinnerung, das Lernen und das Denken ist. Es entspricht somit auch der Fähigkeit des Individuums, einen begrenzten Umfang von Informationen in einem speziellen aktiven Verarbeitungsmodus zu halten. Begrenzt muß dieser Umfang schon deswegen sein, weil ab einer bestimmten Anzahl von an sich „linear unabhängigen" Aktivitätsmustern es zu störenden Interaktionen kommen würde. Dies würde aber die Gefahr beinhalten, daß nicht zu mischende Bedeutungsinhalte auf einmal in einer Aktivität kodiert werden - was ggf. zu das Individuum bedrohenden Situationsabschätzungen führen könnte. Wie wir sehen werden, wenn wir über die Organisationsformen neuer Gedächtnisspuren reden werden, können bis zu fünf unabhängige Zwischenstadien zeitgleich existieren, ohne das es unbedingt zu Interferenzen kommen muß. D.h. aber, daß wir auch nur bis zu fünf unabhängige Gedanken gleichzeitig „im Kopf" haben können.

#### 20.2.2.3.1 Die informationstechnischen Strukturen des Kurzzeitgedächtnisses

Im folgenden soll dargelegt werden, welche Vorstellungen über die verschiedenen Formen der Repräsentation von Informationen im Kurzzeitgedächtnis heutzutage existieren. Wir hatten ja definiert, daß die elektromagnetisch basierte sensorielle Information der Masse aller Neuronen in Ikonen überführt wird und diese Ikonen die Arbeitsgrundlage für die weitere Verarbeitung in Kurzzeitgedächtnis darstellen. Wie Experimente zeigen, ist der Inhalt dieser Ikonen entweder wahrnehmungsmäßig orientiert, d.h. der Wahrnehmungsinhalt wird weitestgehend erhalten oder

aber bedeutungsmäßig orientiert, d.h. das Wahrgenommene wird bezüglich seines Bedeutungsinhaltes analysiert und dieser Inhalt in einer ikonisierten Repräsentation weiterverarbeitet.

#### *20.2.2.3.1.1 Die Formen der wahrnehmungsmäßigen Repräsentation der Ikonen*

Wie kognitionswissenschaftliche Experimente zeigen, können wahrnehmungsmäßige Wissensinhalte in Form von räumlichen Vorstellungsbildern oder linearen Ordnungen präsent sein, die die räumliche Struktur beziehungsweise die Abfolge von Elementen (Items) kodieren. Beiden Repräsentationsformen ist gemein, daß sie Abstraktionen vom ursprünglichen Reiz sind und dessen Struktur nur zum Teil bewahren.

Bei der wahrnehmungsmäßigen Repräsentation unterscheidet man die folgenden Formen der Wissensrepräsentation:

- **die räumliche Repräsentation**

  Sie bewahrt die Informationen über die Position von Objekten im Raum, aber nicht die Modalität, also ob die Abfolgeinformationen über das Hören oder über das Lesen der Ordnung kodiert wurde.
- **die lineare Ordnung**

  Sie bewahrt im Gegensatz zu den räumlichen Vorstellungsbildern die Informationen über die Abfolge von Ereignissen, zum Beispiel die Reihenfolge von Wörtern innerhalb eines Satzes. Eine lineare Ordnung repräsentiert also Ereignisse durch eine sequentielle Organisation, ähnlich wie Perlen, die auf einer Schnur aufgereiht werden. Die Modalität der sensoriellen Information wird ebenfalls nicht bewahrt.
- **die räumliche und lineare Repräsentation**

  Diese Verknüpfung der beiden Wissensrepräsentationen ist eine bekannte Theorie der kognitiven Psychologie und heißt **duale Kodierungstheorie**. Sie bindet den räumlichen Code an die visuelle Modalität und den linearen Code an die verbale Modalität, wobei auf beide „Speichersysteme“ unabhängig von einander zurückgegriffen werden kann. An Hand von Experimenten konnte gezeigt werden, daß z.B. geometrische Objekte eher entsprechend ihrer räumlichen Position gespeichert werden, während andere Informationen, z.B. Wörter, in linearer Ordnung gespeichert werden. Wie weiterhin gezeigt werden konnte, gewährleistet eine „doppelte Kodierung“ eines Faktums in beiden Speichern eine bessere Behaltensleistung, was uns auch logisch erscheinen muß, da die gleichzeitige Aktivierung von zwei Aktivitätsmustern deren resonatorische Stabilisation unterstützen

sollte. Wir wollen an dieser Stelle soweit noch weiter gehen und postulieren, daß die Existenz einer alle spezifische Projektionsfelder, sprich Modalitäten umfassenden Repräsentation die besten Behaltensleistungen garantieren sollte.

- **die bildhaften Repräsentationsformen**

  Diese Repräsentationen werden üblicherweise als **räumliche Vorstellungsbilder** oder **mentale Bilder** bezeichnet. Bei kognitionspsychologischen Experimenten stellte sich dabei heraus, daß, wenn Menschen mit mentalen Vorstellungsbildern operieren, sie Prozesse vollziehen, die tatsächlichen Handlungen an realen Objekten analog sind. Wie man in Experimenten bei denen Rotationen, Faltungen und Bildprüfungen vollzogen werden müssen sehen kann, wird für die mentale Operation um so mehr Zeit benötigt, je länger die erforderliche Zeit für die entsprechende reale Operation ist. Aber !!!: Räumliche Vorstellungsbilder entsprechen nicht etwa einer realistischen Abbildung der sensoriell codierten Umwelt, sondern sind gemäß der eingeführten Modelltheorie rein mentale Modelle und unterliegen dementsprechend auch gemäß den Axiomen der verwendeten Modelltheorie den folgenden Eigenschaften [nach Anderson]:

  - Sie können kontinuierlich variierende Informationen repräsentieren.
  - Auf sie können Operationen angewandt werden, die Analogien zu räumlichen Operationen sind.
  - Sie sind nicht an die visuelle Modalität gebunden, sondern scheinen Teil eines allgemeineren Systems zur Repräsentation räumlicher und kontinuierlicher variierender Informationen zu sein.
  - Quantitäten wie Größe sind bei Vorstellungsbildern um so schwieriger zu unterscheiden, je ähnlicher die Quantitäten sind.
  - Vorstellungsbilder sind formbarer und weniger präzise als Bilder.
  - Vorstellungsbilder von komplexen Objekten sind in jeweils einzelne Bestandteile untergliedert.

###### *20.2.2.3.1.2 Die Formen der bedeutungsmäßigen Repräsentation der Ikonen*

Die hier diskutierte Überführung der sensoriellen Information in eine ikonisierte Darstellung beinhaltet zwei wesentliche Vorteile. Erstens wird die Fülle der sensoriellen Information modalitätsunabhängig bzw. modalitätsübergreifend in ein mentales, erweiterbares Gesamtbild überführt und

zweitens gelingt so eine erhebliche Datenreduktion der in das zentrale Nervensystem einfließenden $10^{11}$ Bit/Sek. Trotz dieser Reduktion wäre aber eine zu große „Feinheit" dieser ikonisierten Repräsentationsform aus informationslogistischen Gründen als ungünstig anzusehen, da viele Informationsanteile einer Szenerie für das Individuum als (sicherlich individuell gewichtet) unwichtig oder zu mindest aus seinem Weltverständnis als jederzeit wieder reproduzierbar erscheinen müssen. Erinnern wir uns zudem, daß nur über die proteinbasierte Rekonfiguration des zentralen Nervensystems Wissen permanent ablegbar ist und dieser Prozeß viel Energie verbraucht und daher als evolutionsstrategisch nicht günstig anzusehen ist, so scheint es nur logisch, daß der Inhalt oder die Struktur der Ikonen möglichst simpel gehalten werden muß. Am besten gelingt dies, wenn nur die Inhalte einer Szenerie ikonisiert werden, die von (individueller) Bedeutung sind. Die Extraktion dieser Inhalte schlägt sich in der bedeutungsmäßigen Wissensrepräsentation nieder, die ihrerseits in die folgenden Sparten unterteilt werden kann:

- die **verbale Bedeutungsrepräsentation**
  Aus einem Text heraus werden nicht die einzelnen Worte eins zu eins abgebildet, sondern nur die bedeutungsmäßig nötigen Begriffe/Worte in die Ikone überführt. Es erweist sich somit als sinnvoll, zwischen der Bedeutung eines Satzes und dem Satz selbst zu unterscheiden.
- die **visuelle Bedeutungsrepräsentation**
  Der Mensch überführt nur selten die genauen visuellen Einheiten einer Szenerie oder die genauen räumliche Relationen eines Bildes in die ikonisierte Repräsentation des Kurzzeitgedächtnisses. Statt dessen behält er eine eher abstrakte Repräsentation, die die „nur" die Bedeutung des Bildes erfaßt. So zeigen Versuchspersonen beispielsweise eine schlechte Behaltensleistung bei Bildern, die sie nicht sinnvoll interpretieren können.

Die Ikonisierung von Wahrnehmungsinhalten aufgrund bedeutungsmäßiger und räumlicher Repräsentationen legt die Frage nah, welches die kleinsten noch ikonisierbaren Inhalte einer Szenerie sind. Man hat sich heute darauf geeinigt, diese kleinst möglichen Bausteine als **Propositionen** zu bezeichnen. Der Begriff der Proposition ist dabei der Logik und Linguistik entliehen und bezeichnet eine Bedeutungseinheit, die als selbständige Behauptung sinnvoll als wahr oder falsch beurteilt werden kann. Ausgehend von der Art und Weise, wie sensorielles Erleben ikonisiert werden kann, soll daher als nächstes untersucht werden, ob und wie kleinstmögliche Ikonen, Propositionen strukturiert werden können, um komplexe Szenerien effizient zu kodieren, zu bearbeiten und zu hinterlegen.

#### *20.2.2.3.1.3 Die Propositionale Repräsentation*

Wir hatten gesehen, daß durch das Zerlegen einer Szenerie in Propositionen lediglich die Bedeutung eines Ereignisses in den Ikonen repräsentiert werden kann, während unwichtige Einzelheiten nicht repräsentiert werden müssen. Andererseits sollten es die Propositionen ermöglichen, komplexe Szenerien durch ihre Verknüpfung sukzessive aufzubauen. Um dieses zu gewährleisten, müssen Propositionen daher in Erweiterung nicht nur als kleinste Logikkomplexe aufgefaßt werden, sondern vielmehr als Strukturen oder Listen, in denen auf eine Relation eine geordnete Reihe von Argumenten folgt. Dieser Erweitungsforderung folgend, ordnen z.B. Sprachpsychologen den Relationen die Verben, die Adjektive oder die relationalen Ausdrücke zu, während den Argumenten die Substantive zugeordnet werden. Dadurch wird erreicht, daß durch die Relationen die Verbindungen zwischen Propositionen hergestellt werden können. Eine andere Art komplexe Gebilde aus Propositionen aufzubauen wird durch die **propositionalen Netzwerke** aufgezeigt. Im folgenden Diagramm ist der prinzipielle Aufbau eines solchen propositionalen Netzes gezeigt:

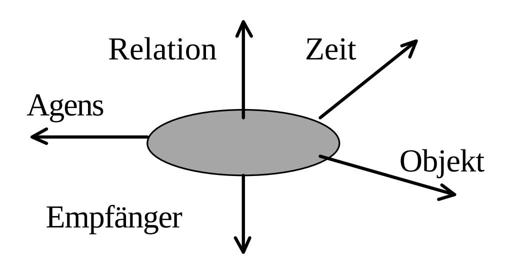



**Abbildung 20-4**

Die Proposition wird als Knoten eines Netzwerkes dargestellt, die durch beschriftete Pfeile mit ihren Relationen und Argumenten verbunden ist. Man bezeichnet die Präpositionen, die Relationen und die Argumente als Konten des Netzwerkes, während man die Pfeile als Verknüpfungen des Netzwerkes bezeichnet, die verschiedene Knoten miteinander verbinden können und damit eine beliebige Komplexität der Netzwerke garantiert ist. Ein Knoten besteht zumindest aus den Agens, also dem der gemeint ist und der Relation zum einem Objekt, also zu dem Ding mit dem etwas getan wird. Alle anderen Relationen können problemspezifisch existent sein, oder auch nicht.

#### *20.2.2.3.1.4 Der Begriff des Schemas*

Propositionen und proportionale Netzwerke haben nun aber den Nachteil, daß sie lediglich für kleinere Informationseinheiten geeignet sind, da sie zu schnell unübersichtlich werden. Geht es darum, ganze Gruppen zu repräsentieren so sind die sog. **Schemata** geeigneter. In Schemata werden Propositionen geeigneten Oberbegriffen zugeordnet, wodurch es gelingt ganze Listen sinnvoll zu ordnen. Ein immer wieder rezitiertes Beispiel möge dies verdeutlichen:
Stellen wir uns folgende Konzept vor:

- Häuser haben Zimmer
- Häuser können aus Holz gebaut sein
- Häuser haben Dächer
- Häuser haben Wände
- Häuser haben Fenster
- In Häusern wohnen Menschen

Man sieht gleich, daß das proportionale Netzwerk des Konzeptes Haus nicht mehr eindeutig zu erstellen ist, da Häuser eben mehr einer Gruppencharakteristik unterliegen. Durch die Einführung des Schematas mit seinen Oberbegriffen gelingt es uns aber, gerade diese Gruppencharakteristik zu beschreiben. So würde nämlich die Gruppe aller Häuser durch die folgende Schemarepräsentation charakterisierbar sein:

- Haus
  - Oberbegriff: Gebäude
  - Material: Stein, Holz
  - Enthält: Zimmer
  - Funktion: menschlicher Wohnraum
  - Form: rechteckig
  - Größe: 50 bis 500 Quadratmeter
  - Ort: ebenerdig

Das Gute an Schemata ist also, daß sie so aufgebaut sind, daß Schlußfolgerungen über die Konzepte erleichtert werden. Wenn wir also wissen, daß etwas ein Haus ist, dann können wir die Schemadefinition heranziehen und daraus ableiten, daß dieses Haus wahrscheinlich aus Holz oder Stein gebaut wurde usw..

Die Schlußfolgerungsprozesse bei Schemata müssen jedoch die Möglichkeit einschließen, auch Abweichungen Rechnung zu tragen. Z.B. können wir durchaus verstehen, was ein Haus ohne Dach ist. Desgleichen ist es notwendig, Einschränkungen zu verstehen, die sich aufgrund verschiedener Attribute innerhalb eines Schemas ergeben. Wenn wir beispielsweise hören, daß ein Haus unterirdisch gebaut ist, können wir daraus ableiten, daß es keine Fenster haben dürfte. Schemata können daher resümierend als zusammenhängende Einheiten höherer Ordnung von Propositionen verstanden werden, wobei diese Ordnung synergetische Informationserweiterungen erzeugen kann.

Nun können aber nicht nur Gegenstände und Begriffe, sprich Konzepte mit nichttemporärem Charakter durch Schemata repräsentiert werden, sondern auch Ereignisse, sprich Konzepte mit temporärem Charakter. Man nennt diese Art Schemata auch **Skripte**. Die Struktur der meisten Skripte, die wir benutzen, legen eine logische wenn auch erfahrungsorientierte Handlungskette fest. Wird diese durch die sensorielle Szenerie verletzt, so benutzen wir Skripte als Grundlage für die Detektion fehlender, bzw. die Berichtigung falscher Informationen.

#### 20.2.2.3.1.4.1 Mustererkennen

Eng mit der Theorie der Skripte/Schemata verbunden sind die Grundlagen der Mustererkennung, welche ja ebenfalls am Ende des Erkennungsvorgangs ikonisierten Abbildern der sensoriellen Informationen entsprechen.

Zur allgemeinen Theorie der Wahrnehmung von Mustern existieren heutzutage zwei verschiedenartigen Modelle:

- **das Schablonenvergleichsmodell**
  Das Schablonenvergleichsmodell basiert darauf, daß das Muster als Ganzes in einem Schritt mit einer Art vorgegebener Schablone verglichen wird. Die Wahrnehmungstheorie des Schablonenvergleiches beruht auf der Annahme, daß ein getreues Netzhautbild des Gegenstandes an das Gehirn übermittelt wird und daß dann versucht wird, es mit bereits gespeicherten Mustern zur Deckung zu bringen.
- **die Merkmalsanalyse**.
  Die Merkmalsanalyse geht davon aus, das die Komponenten eines Musters zunächst einzeln identifiziert und anschließend kombiniert werden. Im Falle des Alphabets können das horizontale und vertikale Striche oder schräge und gekrümmte Linien sein.

Das Merkmalsmodell bietet gegenüber dem Schablonenmodell eine Reihe von Vorteilen: Erstens sind die Merkmale einfacher, wodurch sich leichter absehen läßt, wie das visuelle System die beim Schablonenmodell zutage getretenen Schwierigkeiten bewältigen könnte, zweitens kann man die Beziehung zwischen den Merkmalen angeben, die für das Muster charakteristisch sind.

Aus den genauen Analysen der Beziehungen zwischen Merkmalen wurden die **Gestaltgesetze der Organisation in der Wahrnehmung**, die man im visuellen auch **Gestalttheorie** nennt evaluiert. Zu den wichtigsten Aussagen der Gestalttheorie gehört, daß das Ganze mehr ist als die Summe seiner Teile. Es handelt sich um Einheiten, die als Eigenschaften des Ganzen im Prozeß der Wahrnehmungen entstehen. Es gibt einige Belege dafür, daß wir diese größeren Konfigurationen schneller und genauer wahrnehmen als ihre Bestandteile. Es wird also ein ganzes Muster schneller erkannt als ein Teil davon.

Neben diesen mehr allgemeinen Aussagen obliegt der visuelle Mustererkennungsprozeß aber auch den folgenden (Gestaltungs-)Gesetzen:

- **Gesetz der Nähe**
  Nah benachbarte Elemente (einer Zeichnung oder einer Szenerie) tendieren dazu, als zusammengehörig klassifiziert/identifiziert zu werden.
- **Gesetz der Ähnlichkeit**
  Elemente gleicher Figur werden als zueinander zugehörig betrachtet. Das Gesetz der Ähnlichkeit dabei wird als dominanter empfunden als das Gesetz der Nähe.
- **Gesetz des glatten Verlaufs**
  Szenenfiguren, die einem glatten Verlauf repräsentieren werden als zusammengehörig empfunden. Dieses Gesetz überwiegt die vorherigen.
- **Gesetz der Geschlossenheit und der guten Gestalt**
  Figurale Muster, die in sich geschlossen sind, werden als dominierend empfunden. Dieses Gesetz überwiegt die vorherigen.

Neben diesen elementaren Gestaltungsgesetzen gibt es noch den Begriff der **hochüberlegenen Muster**. Hochüberlegene Muster sind als Teil großer Kontextstrukturen zu verstehen, wie z.B. die Form einer Nase als repräsentative Detailinformation eines Gesichtszuges. Zu bedenken bei all diesen Gestaltungsgesetzen ist aber, daß bei der Identifikation von Einzelheiten aus einem komplexen Kontext die Erkennungsleistung von uns logischen Einschränkungen unterliegt, die den folgenden fünf Regeln unterliegen:

- Der **Verdeckungsregel**
  Gegenstände verdecken im allgemeinen ihren Hintergrund,
- Der **Unterlagenregel**
  Gegenstände liegen im allgemeinen auf ihrer Unterlage auf,
- der **Wahrscheinlichkeitsregel**
  Gegenstände sind normalerweise nur in einem bestimmten Kontext anzutreffen,
- Der **Ortsregel**
  Gegenstände, die in einem bestimmten Kontext wahrscheinlich sind, werden nur an bestimmten Orten auftreten,
- Der **Regel der gewohnten Größe**
  Gegenstände treten nur in bestimmten Größen/Größenverhältnissen auf.

Im Allgemeinen verwendet der Mensch all diese Gestaltgesetze um unbewußte Schlüsse hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit eines zu analysierenden Kontextes zu machen, bzw. Aufmerksamkeit quasi zu sparen, indem er auch durch flüchtiges Hinsehen Szenerien erfaßt und bewertet. Inkonsistenzen bezüglich der Gestaltungsgesetze bedingen also eine erhöhte Aufmerksamkeit zur Bewertung einer Szenerie.

#### 20.2.2.3.1.4.2 Spracherkennen

Bisher haben wir nur das Erkennen geschriebener Zeichen betrachtet. Bei einer gesprochenen Mitteilung kommen einige neue Probleme hinzu. Ein zentrales Problem ist die Gliederung. Gesprochene Sprache ist nicht in derselben Weise in gesonderten Einheiten gegliedert wie die Schrift. Zwar scheinen zwischen gesprochenen Wörtern deutlich abgegrenzte Pausen zu liegen, aber oft ist das auch eine Täuschung. Wenn wir das tatsächliche physikalische Sprachsignal untersuchen, können wir an Wortgrenzen vielfach keinerlei Abfall der Schallenergie feststellen. Eine Unterbrechung im Fluß der Schallenergie tritt innerhalb eines Wortes ebenso häufig auf wie zwischen verschiedenen Wörtern. Diese Eigenschaft der Sprache wird deutlich, wenn man eine fremde Sprache hört, die man selbst nicht beherrscht. Die Sprache erscheint als fortlaufenden Strom von Lauten ohne erkennbare Wortgrenzen. Nur weil wir mit der eigenen Sprache vertraut sind, entsteht der Schein von Wortgrenzen.

Man bekommt schon Gliederungsprobleme bei einem einzigen Wort. Diese Probleme innerhalb von Wörtern betreffen die Identifikation von **Phonemen**. Phoneme sind das Grundvokabular

von Sprachlauten; durch sie erkennen wir Wörter. Ein Phonem ist als die kleinste Spracheinheit definiert, bei deren Austausch eine gesprochene Mitteilung ihren Sinn verändern kann (Gut, Hut). Wenn Phoneme identifiziert werden sollen, aus denen sich ein gesprochenes Wort zusammensetzt, entsteht ein Gliederungsproblem. Die Schwierigkeit liegt darin, daß die Sprache kontinuierlich ist und die Phoneme deshalb nicht in der gleichen Weise voneinander getrennt sind wie Buchstaben auf einer Seite ähnlich wie Handschrift.

Anzumerken ist, daß die Sprachwahrnehmung noch nicht ganz verstanden ist. Man weiß bisher über Sprachwahrnehmung, daß sie, wie das visuelle Erkennen von Buchstaben, auf Prozessen der Merkmalsanalyse zu beruhen scheint. Die einzelnen Phoneme können nach verschiedenen Merkmalen analysiert werden, aus denen sie sich zusammensetzen, was auch von der Erzeugung des Phonems abhängt. Zu den Merkmalen von Phonemen gehören:

- **Konsonanz**

  Konsonanz ist die Eigenschaft eines Mitlauts
- **Stimmhaftigkeit**

  Stimmhaft ist der Klang eines Lauts, wenn er durch Schwingungen der Stimmlippen gebildet wird
- **Artikulationsstelle**

  als Artikulationsstelle bezeichnet man den Ort, an dem der Vokaltrakt beim Erzeugen eines Phonems geschlossen oder verengt wird (Der Stimmapparat wird beim Hervorbringen von Konsonanten meist an einer Stelle geschlossen)

Bei der Erkennung von Sprache spielt der Kontext eine ebenso wichtige Rolle, wie bei der visuellen Wahrnehmung, wobei als meist unbewußt vollzogene Ergänzung der sog. **Phonemergänzungseffekt** zu nennen ist. So werden Fehler im sprachlichen Fluß oft von den Probanden „überhört", indem sie den falschen Phonem durch den richtigen ergänzen.

#### 20.2.2.3.2 Die Verarbeitung der Information im Kurzzeitgedächtnis

Nachdem einige mögliche Organisationsformen der Informationen im Kurzzeitgedächtnis definiert worden sind, soll im folgenden diskutiert werden, wie die verschiedenen Konzepte, Schemata und Skripte zu dem geformt werden, was in die letztlich stabile Form des Gedächtnisses, in das Langzeitgedächtnis überführt wird.

#### 20.2.2.3.2.1 Die Aufmerksamkeit

Die Ikonisierung der sensoriellen Repräsentationen der in die Struktur des Kurzzeitgedächtnisses einfließenden Informationen wird laufend vollzogen und ist unabhängig von einer bedeutungsevaluierenden Weiterverarbeitung. Wie wir aber wissen, können aus der Vielzahl der jeden Moment präsenten (ikonisierten) Sinneseindrücke immer nur sehr wenige Ikonen analysiert und verarbeitet werden. Die selektive Bearbeitung von Sinneseindrücken soll im Folgenden unter dem Begriff der **mentalen Verarbeitung** geführt werden, um sie von der durch feste neurologische Strukturen des zentralen Nervensystems vollzogenen (unbewußten) Ver- und Bearbeitung zu unterscheiden. Diese selektive Ausrichtung des Wahrnehmens, Vorstellens und Denkens auf bestimmte gegenwärtige oder erwartete Erlebnisinhalte bei gesteigerter Wachheit des recticulären Systems und Aufnahmebereitschaft des Bewußtseins wird von der sogenannten **Aufmerksamkeit** gesteuert. Man bezieht den Begriff der Aufmerksamkeit dabei auf die Ausrichtung der mentalen Verarbeitung auf eine kontinuierliche Reizsituation und faßt sie als Voraussetzung der Intelligenz auf. Die Steigerung der Aufmerksamkeit ist die **Konzentration**. Ist die Aufmerksamkeit von der momentanen Einstellung des Individuums gesteuert, so nennt man sie **willkürliche Aufmerksamkeit**, im Gegensatz zur **unwillkürlichen Aufmerksamkeit**, die durch die Aktivierung der Alarm- und Fluchtmechanismen der archaischen Teile des Hirns aktiviert und gesteuert wird. Die Aufmerksamkeit ist stark von der Konstitution des zentralen Nervensystems abhängig und nimmt mit wachsender Ermüdung oder durch eine Reizsättigung ab. Diese Veränderung der Aufmerksamkeit nennt man **Aufmerksamkeitsschwankung**. Der Grad der Aufmerksamkeit, **Aufmerksamkeitsumfang** genannt, ist individuell verschieden und richtet sich nach dem Alter und dem bevorzugten Sinnesgebiet des Individuums. Der Aufmerksamkeitsumfang beschreibt damit aber gerade die Zahl der erfaßbaren und reproduzierbaren Eindrücke.

Der Aufmerksamkeit ähnlich ist die **Vigilanz** eines Individuums. Sie beschreibt die Fähigkeit, der Daueraufmerksamkeit und Reaktionsbereitschaft des Kurzzeitgedächtnisses, gegenüber bestimmten, unregelmäßig auftretenden Reizen. Der Leistungsverlauf der Vigilanz hängt dabei von der Dauer der Beobachtungstätigkeit, der Signifikanz der Sinnesreize, der Persönlichkeitsmerkmale und der psychophysikalischen Verfassung des Individuums ab. Die Vigilanz fällt schon nach kürzester Zeit ab und erreicht nach 30-60 Minuten ein etwa gleichbleibendes Niveau, bis Ermüdung einsetzt.

Als anatomische Quelle der Aufmerksamkeit und der Vigilanz nimmt man Formatio Reticularis an. So zeigen anatomische Studien, daß bei Sinnesreizen nicht nur die modialen Projektionsfelder eine erhöhte Aktivität aufweisen, sondern auch einzelne Reticularisneuronen (die in direkter Verbindung mit motorischen Neuronen stehen können, so daß es zu reizbedingten aber unbewußten Reaktionen, wie z.B. der Hinwendung zur Geräuschquelle oder der Erhöhung des Muskeltonusses kommen kann). Bei ständiger Wiederholung des Reizes sinkt die Aktivität dieser reticulären Strukturen schneller ab, als der Anpassungsvorgang (**Habituation**) der spezifischen Projektionsbahnen, man sagt, daß das periphere Signal für das Individuum an Information verloren hat. Die Retikulärformation als Steuerungsglied der Wachheit und der allgemeinen Bewußtseinslage steuert somit auch die Richtung der Aufmerksamkeit und erzeugt damit eine **Erregungsselektion**, die die bewußte Verarbeitung erst ermöglicht. Diese Strukturen, die sich beim Menschen und den Wirbeltieren in den unspezifischen Thalamuskernen fortsetzen, erzeugen dabei aber nur die **affektfreien Aktivierungen** und Aufmerksamkeiten und stellen das **erste laterale (reticuläre) Ursystem der Wachheit und Vigilität/Aufmerksamkeit** dar. Man nennt sie wohl auch deshalb das **reticuläre Aktivierungssystem**. Eine Schädigung dieser Strukturen führt immer zu Schlafzuständen bzw. zu tiefer Bewußtlosigkeit, unabhängig davon ob die spezifischen Erregungen noch in Takt sind oder nicht (diese Strukturen hatten wir ja denn auch als der Angriffspunkt aller Narkotika, Schlaf- und Beruhigungsmittel kennengelernt.)

Das zweite **mediale (limbische) Ursystem der Wachheit und Vigilität/Aufmerksamkeit** entspricht dem Neuronenkomplex des limbischen Systems. Dieses System ist für die viszeralen und vegetativen Reaktionen und Affekte der Vitalsphäre zuständig und steuert damit die emotionsbezogene Aufmerksamkeit. Ist diese gestört, so liegt meist das klinische Bild des manisch-depressiven Irreseins vor, daß sich periodenweise auftretend durch eine rein emotionale Filterung, sprich Aufmerksamkeitszuwendung äußert.

Beide Ursysteme wirken damit als Filter, die das durch sie evaluierte sensormodiale Erleben an die evolutionsmäßig jüngsten nachgeschalteten Hirnteile weitergeben und damit die Bedeutungsfindung „in ihrem Sinne“ beeinflussen. Die Auslösung des Brutinstinktes bei niederen Tieren und beim Menschen sind ein Beispiel für ihre Mächtigkeit der Einflußnahme. Allgemeinhin können wir davon ausgehen, daß unsere lebenserhaltenden Instinkte in diesen Strukturen abgelegt sind und damit unsere Aufmerksamkeit und Vigilanz steuern.

Unserem Träger-Muster-Bedeutung-Modell folgend stellt sich die Aufmerksamkeit als das Bahnungselement für den Aufbau eines temporär stabilen Aktivitätsmusters, sprich einer temporär stabilen Bedeutungsfindung dar, die aber die das Leben schützenden archaischen Verhal-

tens- und Reaktionsstrukturen berücksichtigen muß. Dieser Aufbau gestaltet sich dabei so, daß die momentan bewußtseinsfähigen Aktivitätsmuster die beiden Ursysteme rückwärts aktivieren und eine Selektion der sie resonatorisch stabilisierenden sensormodialen Ikonen (sprich Aktivitätsmuster) provozieren, was einer aufmerksamkeitsbedingten Filterung entspricht.

**Wir merken uns:**
Es existieren zwei Ursysteme in den tieferen Hirnregionen, die unsere Wachheit, Aufmerksamkeit und Vigilanz steuern, das reticuläre und das limbische Wachheitssystem. Während ersteres einem affektfreien Filter entspricht, ist zweiteres ein affektbeladener Filter. Beide Systeme dienen zur Überführung der sensormodialen Ikonen in die höheren Verarbeitungszentren des Gehirns. Durch gegenseitige Stimulans dieser höheren und niederer Hirnregionen wird eine zum Aufbau der temporär stabilen Verarbeitungsmodi nötige Aktivitätsbahnung provoziert, die wir Aufmerksamkeit nennen. Einige Assoziationszentren, die zum Überleben des Individuums nötig sind, sind ständig aktiv, z.B. für Feuer, schnelle Bewegungen und bedrohliche Geräusche), d.h. eine latente Aufmerksamkeit ist immer auf diese sensoriellen Erlebnisse gerichtet. Die Kapazitätsgrenzen der Aufmerksamkeit sind die eigentliche Ursache für die begrenzte Wiedergabeleistung der Menschen.

#### *20.2.2.3.2.2 Chunking*

Die Kapazität des aktiven Teils des Gedächtnisses ist aber nicht nur durch die Beschränkung der Aufmerksamkeit definiert, sondern auch durch die Tatsache, daß nur ca. 5 bis 7 nichtzusammenhängende Informationseinheiten simultan verarbeitet werden können. Um diesen Engpaß zu umgehen, bietet es sich an, auf der Basis der oben besprochenen Organisationsstrukturen, zusammenhängende modalitäts- und qualitätsübergreifende Informationsblöcke zu organisieren, die sich dadurch auszeichnen, daß die Aktivierung einer Einzelinformation dieser Blöcke gleichzeitig alle anderen Informationseinheiten dieses Blockes mitaktiviert. Einen dergestalt definierten Organisationsformblock des Wissens nennt man **Chunk**. Chunks dienen also dazu, die Kapazität des Kurzzeitgedächtnisses zu erhöhen, indem die Informationen zu bedeutungshaltigen Einheiten zusammengefaßt werden. Man erreicht dadurch, daß nicht mehr die real in den Reizen enthaltenen Informationseinheiten einzeln bearbeitet werden müssen, sondern nur noch bedeutungshaltige Informationskomplexe.
Dies führt zu:

- einer erheblichen **Erweiterung der Gedächtniskapazität**

- einer **geringeren Belastung der Verarbeitungsressourcen**
- einer **Zusammenfassung artverwandter Gedächtnisinhalte**
- einer möglichen **gleichzeitigen Aktivierung von 4 bis 7 Gedächtnisinhalten** (**Chunks**)

Das Erkennen oder Bilden von Chunks in einer größeren Informationsmenge beschleunigt daher die Aufnahme der Information in das Kurzzeitgedächtnis und ihre Enkodierung, da definitionsgemäß ein komplexerer Chunk auch einer komplexeren gleichzeitig aktivierbaren Informationsstruktur entspricht. Das Bilden und Modifizieren von Chunks nennt man **Chunking**. In Abbildung 5 ist ein Chunkingprozeß schematisiert dargestellt. In dieser Abbildung wird aufgezeigt, wie eine neue Information, hier ein Buchtext, von einem Probanden unter Einbeziehung seines Bewußtseins und seiner Aufmerksamkeit in seine bisherige Erlebniswelt integriert wird, indem diese einfach durch die neue Information erweitert wird. Sein mentales Modell von Frankreich, Sonne, Meer und Urlaub wird sensibilisierend umstrukturiert. Wie man an diesem Beispiel sieht, ist aber die Voraussetzung für diese Integration, daß das Gelesene quasi an einen schon existierenden "Wissensblock" angehängt wird. Wäre dieser Wissensblock nicht vorhanden, so würde der Proband sich einen anderen, auch thematisch entfernteren Wissensblock für die Verknüpfung heraussuchen. Aus diesem Modell resultiert, daß der Mensch erfahrungsbedingt für einige Erkenntnisse als "zu jung" erscheinen kann. Dies wird immer dann der Fall sein, wenn für ein Faktum kein relevantes Wissen zur Chunkbildung bereitgestellt werden kann. Bezogen auf die bisher besprochenen Modellvorstellungen entspricht ein Chunkingprozeß rein stofflich gesehen einem Integrationsvorgang von erfahrungsgeprägten Neuronenmodulen zwecks einer optimalen resonatorisch bedingten Stabilisierung eines durch (Konzept-) Erweiterung erzeugten neuen Aktivitätsmusters. Das heißt, ein Chunkingprozeß ist aus dem elementaren Bestreben der Aktivierungserhaltung momentan dominierender Konzepte heraus verständlich. Er setzt sich somit aus der temporären Modifikation der im recticulären System plazierten Verbindungen zwischen den Kollateralen zwecks der weiteren Hinzuziehung aktivitätsfördernder Neuronenaktivitäten und dem eigentlichen proteinbildungsmäßig vollzogenen Konditionierungsvorgang zusammen. "Bedeutungsmäßig", also auf der Ebene der bedeutungsunterlegten Musterorganisation, entspricht der erste Teilschritt der durch die Aufmerksamkeit bewußt initiierten oder durch das Bestreben der rein resonatorischen Aktivitätsstabilisierung unbewußt initiierten Aktivierung von Wissensstrukturen/Konzepten/mentalen Modelle, die zur Evaluation eines neuen Konzepts/mentalen Modells benutzt werden können, während der zweiten Schritt der Neustrukturierung der Menge der aktiven Konzepte über den Vorgang der Schematisierung entspricht, wobei diese Neustrukturierung laufend auf Konsistenz mit der momentanen Zielvorgabe des Individuums geprüft wird, um bei Konsistenz in der Struturkomponente Gehirn archiviert zu werden.

**Abbildung 20-5: Beispiel eines Chunking-Vorgangs**

Das Prinzip des Chunking legt es nahe neues Wissen mit möglichst vielen Komponenten des alten Wissens zu verknüpfen, um erstens die Behaltensleistung zu steigern und zweitens die Abrufbarkeitswahrscheinlichkeit, sprich Aktivierungsmöglichkeit zu steigern. Sprich wenn man die Wahl hat, sich Informationen entweder anhand einer Bedeutung einzuprägen oder aber ohne, z.B. lediglich anhand räumlicher Vorstellungen, so ist man gut beraten, den Konsens aus dem bisher Gesagten zu ziehen: Da Details einer sensoriellen Szenerie um so besser ikonisiert werden können, um so mehr Bedeutung sie beinhalten, kann die Ikonisierung und damit letztlich die Gedächtnisleistung dadurch erhöht werden, daß man zu erlernten nicht-bedeutungshaltige Informationen in eine bedeutungshaltige Form überführt und/oder sie mit zusätzlichen Informationen kombiniert. Ein Hilfsmittel für solcherart Gedächtnisstützen ist die mnemotechnische Technik, die man auch **Schlüsselwortmethode** oder Eselsbrücke nennt. Bei diesem Verfahren wird der Lerninhalt durch eine assoziative Veränderung auf ein bekanntes Faktum zurückgeführt, bzw. mit einem bekannten Faktum (das kann u.U. auch die momentane Lernsituation sein) verknüpft, wodurch das Lernen effizienter gemacht wird, ohne im Gedächtnis „für Verwirrung“ zu sorgen.

**Wir merken uns:**

Das Kurzzeitgedächtnis ist die eigentlich aktive Form des Gedächtnisses. In diesem Zustand ist der materielle Träger des Gedächtnisses in der Lage, über die aktive Veränderung der Proteinsynthese seine Struktur so zu verändern, daß neue Aktivitätsmuster und damit neue Bedeutungsinhalte geschaffen werden können.

Zur Reduzierung der sensoriellen Informationsfülle wird diese in verschiedene Repräsentationsformen überführt, die einer Ikonisierung entsprechen. Diese Ikonenbildung bewirkt, daß eine

Datenreduktion von $10^{11}$ Bit/Sek. auf $10^{7}$ Bit/Sek. erreicht und so das Ultrakurzzeit-Gedächtnis vor einer zu starken Belastung mit Informationen geschützt wird, bzw. die „Orientierung im Raum der Information“ erleichtert wird. Die Inhalte der Ikonen können dabei wahrnehmungsorientiert oder bedeutungsorientiert kodiert werden, wobei die kleinsten Einheiten der Ikonen, die Propositionen, gerade einer Bedeutung entsprechen, die mit ja oder nein beantwortet werden kann. Propositionen werden in Ikonen entweder in Netzwerkstrukturen oder in Schemata zusammengefaßt, die dann Konzepten entsprechen. Skripte hingegen repräsentieren Ereignisse, die zusammen eine Episode bilden. Schemata und Skripte repräsentieren das Gemeinsame zwischen Propositionen, räumlichen Vorstellungsbildern und linearen Anordnungen. Das aus den Schemata/Skripten resultierende Wissen ist die entscheidende Voraussetzung dafür, daß ein Individuum abzuschätzen vermag, was unter bestimmten Umweltkonstellationen demnächst passieren wird. Es wird dadurch in die Lage versetzt, adäquate Handlungsstrategien zu entwickeln. Die Absicht zu lernen hat keinen Einfluß auf die Behaltensleistung, wichtig ist nur die Art wie die Informationen verarbeitet werden. Das Gedächtnis baut sich sukzessive auf, wobei es dem Chunkingprinzip genügt, d.h. neues Wissen auf der Grundlage alten Wissens interpretiert und die in die vorhandenen Chunks integriert. Dabei werden neue Wissenseinheiten meist mit redundanter subjektiv ausgewählter Information versehen.

#### *20.2.2.4 Das Langzeit-Gedächtnis*

Ist die Proteinsynthese abgeschlossen und die Neuronenmodifikation vollzogen, so ist die Ikone, das Erlebte, permanent in der Aktivitätsstruktur des Gehirns verankert. Diese bedeutungsmäßige, temporär stabile Repräsentation der sich laufend modifizierenden Aktivitätsstruktur des Nervensystems bezeichnet man als **Langzeitgedächtnis**. Spätestens an dieser Stelle wird uns auch klar, warum sich Neuronen nicht durch eine erneute Zellteilung verändern dürfen. Das in ihnen abgespeicherte Wissen würde verloren gehen. Zwar könnte eine aktive Veränderung der Zellerbinformation der **Desoxyribonukleinsäure** (**DNA**) eine Wissenserhaltung gewährleisten, doch ist die aktive und permanente Veränderung dieser Elementarinformation meist mit dem Zelltod verbunden. Es soll an dieser Stelle noch erwähnt werden, daß einige Forscher davon ausgehen, daß auch das Isolier- und Stützgewebe der Neuronen (also die **Glia-Zellen-Struktur**) sich beim Lernen aktiv verändert. Das dies auch möglich wäre, folgt unmittelbar aus den neurologischen Betrachtungen, die eine gegenseitige Beeinflussung auch von weiter entfernten Neuronen aufgezeigt haben. Endgültig ist diese Frage aber bis heute noch nicht geklärt.

#### 20.2.2.4.1 Die Struktur des Langzeitgedächtnisses

Das Langzeitgedächtnis läßt sich, ähnlich wie das Kurzzeitgedächtnis, in zwei unterschiedliche Strukturen unterteilen: in das **episodische Gedächtnis** und in das **semantische Gedächtnis**. Im semantischen Gedächtnis speichern wir Wissen über Worte, Sprache und Symbole, während wir im episodischen Gedächtnis persönliche Erfahrungen und Erlebnisse speichern. Man kann davon ausgehen, daß zwar die Präsentationsformen im Kurzzeitgedächtnis dieselben sind, wie im Kurzzeitgedächtnis, daß aber durch zusätzliche Organisationsstrukturen die sicherlich umfangreiche Informationsmenge im Langzeitgedächtnis weiter reduziert und verdichtet wird. Die drei wichtigsten integrativen Prozesse, die diese Optimierung ermöglichen sollen sind dabei die **Imagination**, die **semantische Verarbeitung** und die **Vernetzung** der Propositionen und Konzepte. Unter Imagination wird dabei die Ikonenbildung unter Verwendung von Vorwissen verstanden. Sie entspricht also der Elaboration einer mentalen Vorstellung die das Erscheinungsbild von Objekten oder den Ablauf von Ereignissen beinhaltet. Die semantische, oder bedeutungsmäßige Verarbeitung, ist eng mit dem Prinzip der **Verarbeitungstiefe** gekoppelt und beschreibt die kognitive Anstrengung, die für die Unterscheidung von Informationsinhalten elaboriert werden muß. Je besser aber die Unterscheidungsmerkmale von Informationseinheiten definiert wurden um so besser können die einzelnen Fakten aus dem Gedächtnis wieder abgerufen werden. Der Kontrollvorgang der Vernetzung von Informationen ist relevant für das Behalten von zusammenhängenden verbalen Informationen, Erzählungen und Texten. Man geht dabei davon aus, daß das Langzeitgedächtnis ebenfalls als Netzwerk miteinander verbundener Konzepte verstanden werden kann, wobei die Konzepte dadurch ihre Bedeutung erhalten, daß sie zu anderen Konzepten netzwerkartige Beziehungen aufweisen. Gemeinsame Eigenschaften von Konzepten sind dabei auf einer höchstmöglichen hierarchischen Ebene im Netzwerk repräsentiert, d.h. das die Eigenschaften eines Konzepts für alle Konzepte, die hierarchisch weiter unten liegen, gelten. Man bezeichnet diese Forderung als **kognitive Ökonomie**, da durch sie eine Entlastung des Speicher- oder Verarbeitungsaufwandes erzielt wird. Überprüfen kann man solche hierarchischen Strukturen indem man die sog. **Inferenzen**, sprich Schlußfolgerungen, beim Suchen von Informationen analysiert. Man kann dabei zeigen, daß Wissen zum Teil wirklich hierarchisch abgelegt wird, was natürlich bedingt, daß der jeweilige Suchprozeß zwischen zwei Konzepten um so länger dauert, um so weiter sie hierarchisch getrennt sind. Man sagt ihre **semantische Distanz** ist größer. Anderseits zeigen die Experimente auch, daß wir nicht immer Strukturen anlegen, die logisch erscheinen; so fällt es z.B. den meisten Menschen leichter (d.h.

sie reagieren schneller) eine Hund als Tier den als Säugetier zu klassifizieren. Deshalb wurden die hierarchischen Netzwerkmodelle um den Begriff der **Merkmalsdimensionen** der Konzepte erweitert, die ganz einfach einen subjektiven Gewichtungsfaktor der Merkmale der Konzepte entsprechen. Man unterscheidet dabei zwei Arten von Gewichtungsfaktoren: die **definierenden (Merkmals-) Gewichtungsfaktoren** und die **charakterisierenden (Merkmals-)Gewichtungsfaktoren**. Definierende Merkmale beziehen sich dabei auf notwendige und zentrale Merkmale eines Konzepts, während charakterisierende Merkmale nicht unbedingt notwendig für die Konzeptbeschreibung sind, sondern eine zusätzliche Bedeutung des Konzeptes beinhalten. Die durch diese beiden Wichtungsfaktoren einhergehende Strukturierung des hierarchischen Netzwerke erklärt, weshalb z.B. die semantische Distanz zwischen einer Kategorie und ihren einzelnen Exemplaren unterschiedlich groß sein kann.

Ferner sind alle Chunks (Buchstaben, Wörter, bedeutungshaltige Wortverbindungen) als Einheiten des Langzeitgedächtnisses definiert. Wenn man also einen Reiz erfährt, der früheren Reizen ähnelt, werden die Einheiten des Langzeitgedächtnisses in einen aktivierten Zustand versetzt, in denen dieses Erlebnis enkodiert ist, also der zugehörige Chunk aufgerufen. Der Prozeß, durch den Netzwerkknoten in diesen aktivierten Zustand versetzt werden, wird als **Aktivierung** bezeichnet. Dies Aktivierung soll im Folgenden näher besprochen werden.

#### 20.2.2.4.2 Die Aktivierung von Inhalten des Langzeitgedächtnisses

Im Langzeitgedächtnis werden alle Gedächtnisspuren, die auf der Ebene des Kurzzeitgedächtnisses evaluiert worden sind, in Form mehr oder minder komplexer Chunks abgelegt. Diese sind dann aber nicht mehr „aktiv“, d.h. auf sie muß ggf. wieder zurückgegriffen werden. Neurologisch gesprochen heißt dies, daß die sie charakterisierenden Aktivitätsmuster im Gehirn nicht präsent sind. Zur Aktivierung dieser Muster, müssen entweder ganze Teile oder auch einzelne Neuronen der sie repräsentierenden Trägerstruktur aktiv feuern, was einer Aktivierung von Propositionen oder Chunkteilen entspricht. Diese erzwungene Aktivität kann dabei entweder durch das sensorielle Geschehen oder durch interne Aktivitäten des zentralen Nervensystems erzwungen werden. Je nach Grad der Aktivierung und nach Stärke der interneuronalen Verbindungen werden dann kaskadenmäßig immer mehr Neuronen in das Aktivitätsgeschehen eingreifen, was zu einem immer komplexeren Aktivitätsbild und damit in Folge zu einer immer komplexeren Bedeutungsfindung durch die Aktivierung der verschiedenen Schemata/Skripte oder Propositionen führen wird. Dieser Vorgang entspricht der Überführung der inaktiven Ge-

dächtnisinhalte aus dem Langzeitgedächtnis in die aktive Gedächtnisform des Kurzzeitgedächtnisses aus physikalischer Sicht. Der Grad der Aktivitätsausbreitung hängt dabei von der „Gängigkeit“ der hinterlegten Information ab, d.h. Aktivitätsstati, welche oft gebraucht werden, oder in denen viele Strukturen integriert sind, werden sich schneller ausbreiten und stabilisieren. Die Zeit, die Erinnerungsvorgänge benötigen, hängt somit von der Stabilität der die Bedeutungen repräsentierenden Trägerstruktur ab.

Ist die anstoßende Aktivierung zu schwach oder durch physikalisch-chemische Faktoren gehemmt, so ist der Inhalt des Kurzzeitgedächtnisses, sprich die aktive Form des zentralen Nervensystems zu klein, um eine evaluierenden Bearbeitung durchzuführen. Für die Bedeutungsebene heißt dies, das eine vollständige Bedeutungsfindung nicht möglich ist, d.h. das Wissen kann weder abgerufen noch bearbeitet werden. Ist die Aktivität zwar bewertbar, aber ihr Grad durch die Überlagerung anderer Aktivitäten im Vergleich nicht dominant so verlängert sich die Bearbeitungs- bzw. Bedeutungsfindungszeit entsprechend.

Allgemein unterscheidet man beim Aufrufen von Gedächtnisinhalten zwei Arten: Das **Wiedererkennen** und die **Reproduktion**. So können wir zwar viele Dinge, auch wenn wir sie lange nicht gesehen oder erlebt haben, wiedererkennen, doch können wir sie vorab nicht explizit beschreiben, d.h. aus dem Gedächtnis heraus reproduzieren. Am deutlichsten wird dies, wenn Relationen zwischen verschiedenen Chunks nur schwach ausgeprägt sind, so daß eine gleichzeitige Aktivierung beider Chunks nicht möglich ist. Sind dagegen in der aktivierenden Information Teile beider Chunks enthalten, so fällt die Reproduktion deshalb leichter weil sie mehr einem Wiedererkennen entspricht. Wir merken uns an dieser Stelle, daß das Gedächtnis Informationen enthält, die wir nicht (einfach) abrufen können, was mit der Tatsache im Einklang steht, daß wir viele Dinge durchaus wiedererkennen können, auch wenn wir nicht in der Lage sind, sie zu reproduzieren. Reproduktionen sind dabei meist das Ergebnis plausibler Schlußfolgerungen, sprich Inferenzen, auf der Basis von Informationen, die in den Chunks momentan aktiv sind.

**Wir merken uns:**

Die Struktur des Langzeitgedächtnisses entspricht im großen und ganzen der des Kurzzeitgedächtnisses. Die Informationen befinden sich im Langzeitgedächtnis normalerweise in einem nicht aktivierten Zustand. Um sie nutzen zu können, müssen sie zuerst aktiviert werden, diese Aktivierung muß sich erst zu dieser Information hin ausbreiten, dieser Ausbreitungsprozeß be-

ansprucht Zeit. Wenn die Informationen einmal aktiviert sind, werden sie als Teil des KZG behandelt, sind von daher schneller nutzbar und die benötigte Zeit ist auch geringer.
Wie hoch die Aktivierung ist, die auf eine Wissensstruktur entfällt, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Man kann sagen, daß sich die Kodierungsstärke hier insofern auswirkt, als stärker kodierte Informationen auch stärker aktiviert werden. Man unterscheidet beim Aufruf abgelegter Wisseneinheiten das Wiedererkennen und die Reproduktion von Wissen. Die Wiedererkennungsleistung des Menschen ist meist höher, als seine Reproduktionsleistung, d.h. wir haben mehr Wissen gespeichert, als wir abrufen können. Wiedererkennungsvorgänge von nicht schnell aktivierbarem Wissen durch Rekonstruktion sind meist mit der Elaboration von neuem Wissen verknüpft.

#### *20.2.2.5 Vergessen*

Nachdem wir den Aufbau des Gedächtnisses besprochen haben, wollen wir in diesem Kapitel den Verlust einmal fest kodierter Informationen diskutieren. Wie wir sehen werden, unterliegt der natürliche Verlust von Gedächtnisinhalten dabei bestimmten Mechanismen, die mit der Zerstörung der die Muster tragenden Trägerstruktur wenig zu tun hat. Natürlich wird bei einem Zugrundegehen großer Teile des Nervengewebes irgendwann die materielle Grundlage der Bedeutungen verlorengehen, doch soll dieser spezielle neurophysiologische Aspekt im Folgenden nicht näher betrachtet werden.

##### 20.2.2.5.1 Interferenz

Wie wir oben erfahren haben - erhöht sich bei einer komplexeren Kodierung zum einen die Reaktionszeit zum anderen integriert das Individuum immer mehr Fakten und auch redundante, meist subjektive Information in den einzelnen Chunks. Dieser an sich zur Gedächtnisunterstützung verwendete Mechanismus kann anderseits dazu führen, daß Gedächtnisinhalte nicht mehr effektiv abgerufen werden können, und zwar immer dann, wenn mit einer aktivierenden Information mehre unabhängige Chunks aufgerufen werden. Man spricht in diesen Fällen vom sog. **Fächerungseffekt**. Diese Bezeichnung wurde gewählt, weil das Ansteigen der Reaktionszeit mit einer Vergrößerung des „Fächers“ von Tatsachen zusammenhängt.
Ein allgemeiner Begriff für solche Phänomene ist die Bezeichnung **Interferenz**. Von Interferenz spricht man immer dann, wenn Informationen zu einem Konzept die Aktivierung eines Konzepts, Schemas, Skriptes oder Chunks quasi durch Überlagerung beeinträchtigen. Aus Sicht der

Aktivitätsmuster scheint dieses Phänomen logisch. Die zusätzlichen aktiven Hirnregionen, deren bedeutungsmäßige Struktur der der ursprünglichen Information konträr sind werden mit aktiviert, was zu einer interferenzmäßigen Mischung der Muster und damit der Bedeutungen führt. Das so entstandene Muster ist zu komplex, als daß ihm eine Bedeutungsfindung zugesprochen werden kann. Im günstigsten Fall muß es zu einer erneuten Bearbeitung der aktivierten Bedeutungsinhalte kommen, man sagt das Individuum **elaboriert** (erweitert, stabilisiert) die ursprüngliche Proportionen durch das Hinzufügen z.B. neuer Propositionen, was wiederum zu einer Separierung der Bedeutungen durch Vertiefung entspricht.

Durch Interferenz verzögert sich natürlich die Abrufgeschwindigkeit der Konzepte, was sich aber noch im Millisekundenbereich bewegt. Wenn jedoch die interferierenden Effekte durch eine ungünstige Elaboration verstärkt werden, kann es dazu kommen, daß man sich nicht an die Informationen erinnern kann. Entweder weil die reproduzierte Tatsache zu schwach kodiert ist, so daß die Abrufzeit zu lang wird, oder weil die Interferenz sich immer weiter durch die Aktivierung konträrer Bedeutungen aufschaukelt. So gesehen entspricht interferenziöses Vergessen nicht einem Verschwinden von Informationen aus dem Gedächtnis, sondern eher dem Verlust der Fähigkeit, diese Informationen zu aktivieren, bzw. einer elaborationsmäßigen Verschleierung der ursprünglichen Gedächtnisspuren. Natürlich kann die Interferenz auch positiv zur Reproduktion von Wissen genutzt werden, doch kommt es in diesen Fällen durch den Fächerungseffekt oft dazu, daß ursprünglich gar nicht vorhandene Informationen elaboriert oder reproduziert werden. Dieses Phänomen ist jedem bekannt. Geschichten aus der Vergangenheit werden auf einmal mit Annahmen (Propositionen) versehen, die nicht den realen Gegebenheiten entsprechen, sondern mehr einer Integration von neuer Information aus gängigen Schemata oder Skripten entsprechen. Zu dieser Kategorie von zusätzlichen Informationen gehören z.B. die Vorurteile.

#### 20.2.2.5.2 Spurenzerfall beim Vergessen

Obwohl Interferenz zu den wichtigsten Ursachen des Vergessens gehört, ist sie nicht die einzige Ursache des Vergessens. Unabhängig von jeglicher Interferenz vollzieht sich im Laufe der Zeit ein systematischer Gedächtniszerfall, der exponentielles Verhalten zeigt. Dieser exponentielle Verlauf deutet natürlich darauf hin, daß es keine physichen Erklärung für den Spurenzerfall gibt, sondern dieser psychologischer Natur ist. Irgendwie muß sich also über die Zeit die Trägerstruktur verändern. Wie sich denn auch an neurophysiologischen Studien zeigen läßt, schwächen sich tatsächlich die synaptische Übertragung bei einer längeren Nichterregung ab. Genau

wie Muskelgewebe verkümmern neuronale Verbindungen also mit der Zeit, wenn die sie erneuernde Eiweißreproduktion auf einem sehr niedrigen aktivitätsorientierten Niveau vollzogen wird.

#### 20.2.2.5.3 Denkblockaden - Störung durch Streßhormone

Eine anderes, wenn auch „nur“ temporär existierendes Vergessen tritt bei einer erhöhten Konzentration von Stresshormonen auf. Dieses Vergessen entspricht aber mehr einer temporären Denkblockade, die durch Angst und Aufregung hervorgerufen wird, als einem wirklichen Gedächtnisverlust. Ungewohnte oder mit Gefahr oder unangenehmen Erinnerungen verknüpfte Wahrnehmungen lösen dabei, wie schon besprochen, über das Zwischenhirn und den Sympathikusnerv eine direkte Simulation der Nebenniere und einiger Gehirnregionen aus. In Bruchteilen von Sekunden werden von dort die Hormone: Adrenalin und Noradrenalin in den Blutkreislauf geschickt. Diese Streßhormone dienen dazu, den Körper schlagartig für Höchstleistungen, für einen plötzlichen Angriff oder eine plötzliche Flucht zu präparieren und ebenso schlagartig eine Erhöhung des Blutdrucks und eine Mobilisierung der Fett- und Zuckerreserven auszulösen. Da in solchen Situationen die relativ langsamen Denkprozesse eher als störend wirken, ist evolutionsbedingt mit ihrer Ausschüttung eine gleichzeitige inhibitorische Stimulans der höheren Zentren des Neocortex verbunden. (Das ist der Moment, wo einem auf Biegen und Brechen in der Prüfungsangst oder in der Panik etwas nicht einfällt. Es mag gerade noch zu einem einmaligen Feuern der Synapsen (Gedankenblitz) kommen, und dann wird der Sender schweigen. Die Information kann nicht an ihren Bestimmungsort gelangen und wir haben es mit einer **Denkblokkade** zu tun.)

**Wir merken uns**

Das Vergessen von Wissensinhalten kann auf eine mehr kognitive und auf eine mehr anatomische Art von statten gehen. Das „normale“ anatomisch bedingte Vergessen, entspricht dabei einem natürlichen Zerfall der interneuronalen Verbindungen, bedingt durch die natürliche Restauration der Neuronen. Es folgt somit einem exponentiellen Verlauf (denn die Natur kann ja nicht zählen !!!). Das kognitive Vergessen ist meist durch die Interferenz, also die Überlagerung von Fakten, bedingt. Die abgelegte Information wird dadurch verschleiert.

### *20.2.2.6 Zusammenfassung der Gedächtnismodelle*

Da die Speicherung und der Zugriff von Informationen und die Evaluierung von mentalen Modellen eine fundamentale Rolle für alle Individuen spielt, soll in diesem Zusatzkapitel das Gedächtnis noch einmal in komprimierter Form und unter Berücksichtigung mehr ingenieurswissenschaftlicher Aspekte behandelt werden:

Die dreistufige Speicherung von Wissensinhalten in neuronalen Systemen findet ihr Analogon in der Herstellung einer Photographie. So kann die höchstens ein paar Sekunden währende Abbildung der sensoriellen Information im UKG mit dem Nachleuchten eines Bildes auf einer phosphoreszierenden fotografischen Platte verglichen werden, während die Ikonisierung und Abspeicherung der Informationen im Kurzzeitgedächtnis mit dem Entwickeln des Negatives der fotografischen Aufnahme gleichgesetzt werden kann. Dieser Vorgang ist störbar: Denn wird ein solches Negativ aus dem Entwickler herausgenommen, ohne das es fixiert worden ist und wird es ans Licht gehalten, so wird es schwarz werden und schließlich wird die zu speichernde Information nicht mehr zu erkennen sein. In ähnlicher Weise können Erinnerung verblassen, solange die Struktur des Hirns noch durch die Erzeugung von Proteinen, synthetisiert durch spezielle RNA-Matrizen, noch nicht dauerhaft verändert worden ist.

Aus diesem Faktum läßt sich das Vergessen der unmittelbaren Vergangenheit alter Menschen erklären. Was vor vielen Jahren passiert ist, ist in ihrem Langzeit-Gedächtnis fest verankert, so das es immer wieder abrufbar ist. Andererseits gelangt das was gestern war zwar in ihr UKG und KZG kann dort aber nicht bleibend abgelegt werden, kann aber nicht in der Struktur ihres LZG abgelegt werden, da die mit dem Alter nachlassenden Proteinsynthese im Hirn eine Veränderung der Gedächtnisträgerstruktur verhindert. Wird diese Proteinsynthese andererseits ein Leben lang auf einem hohem Niveau gehalten und entsprechen die ernährungstechnischen Grundlagen und der Gebrauchsdrogenverbrauch den Bedürfnissen des zentralen Nervensystems, so können Behaltensleistungen ein Leben lang vollzogen werden.

Informationstheoretisch läßt sich das Gedächtnis wie folgt beschreiben: Über die verschiedenen Sinne des Menschen liegen pro Sekunde ca. $10^{11}$ Bits am zentralen Nervensystem an, wobei als Menge der Sinnesdaten im Folgenden jegliche durch die Nerven an das Gehirn weitergeleiteten Sinnesmodalitäten verstanden werden sollen. Die Gesamtheit all dieser Sinnesmodalitäten, **$10^{11}$-Bit-Karte** genannt, ermöglicht es der **Strukturkomponente Gehirn** und der in ihr integrierten bedeutungstragenden und erzeugenden **Strukturkomponente Bewußtsein**, zu

jedem Zeitpunkt ein komplexes Abbild der sie umgebenden (Um-)Welt und der sie tragenden und repräsentierenden **Strukturkomponente Mensch** zu erstellen. Weiterhin zeigen die kognitionspsychologischen Experimente, daß die Strukturkomponente Bewußtsein nur 16 Bit/Sekunde bewußt verarbeitet, wobei diese **16 Bit-Karte** nicht nur das momentane Geschehen als Art eins zu eins Abbildung erfaßt und analysiert, sondern auch ein globales, individuell bewertetes Bild der die Struktur Mensch umgebenden Welt erstellt und die bewußtseinsmäßig unterlegte geistige Integration des Individuums in das momentane Weltgeschehen unter Berücksichtigung der momentanen individuellen Selbstreflexion erzeugt. Aus dem informationstheoretisch stark reduzierten Abbild des momentanen Erlebens werden dabei situationsangepaßte Aktionen abgeleitet, das Verständnis der physischen Welt durch eine geeignete Interpretation ermöglicht und die Erweiterung des individuellen **Weltwissens**. Als Weltwissen bezeichnet man dabei die Gesamtheit aller Erkenntnisse und Handlungsweisen des Individuums.

Aus dem eben gesagten ergibt sich ein kybernetisches Modell des Informationsumsatzes des Menschen, das in Abbildung 6 gezeigt ist. Die aufgeführten Informationsflußgeschwindig-keiten und Speichergrößen ergeben sich dabei aus kognitionswissenschaftlichen Experimenten. Der Akkomodator entspricht einem Stellglied, das die Überführung der sinnesmodialen Erlebnisse in erfahrungsgefärbte, streng merkmalsspezifische Konzepte bewirkt, also hauptsächlich die Extraktion der **klassifikationsspezifischen Informationsanteile des Erlebens** vollzieht. Das Gehirn erreicht dadurch u.a., daß für das momentane Interesse nicht relevante Merkmale unterdrückt werden und die Kontinuität des Erlebens gesichert wird. Die Kapazitäten der Blöcke Bewußtsein (Kurzspeicher) und vorbewußtes Gedächtnis sind dabei sowohl alters- als auch konditionsabhängig. Die angegebenen Zahlen stellen daher Mittelwerte für einen 30-jährigen gesunden Menschen dar.

Modell für den Informationsumsatz im Menschen

Akkomodator

$c_k$

Bewußtsein (Kurzspeicher) $K_k$

$c_v$

vorbewußtes Gedächtnis $K_v$

Sinnesorgane

Muskulatur

Speicherkapazität des Bewußtseins: $K_k < 160$ bit
Speicherkapazität des Gedächtnisses: $K_k$ ca. $2*10^7$ bit
Zuflußgeschwindigkeit zum Bewußtsein: $c_k < 16$ bit/sec
Zuflußgeschwindigkeit zum Gedächtnis: $c_v$ ca. 0,7 bit/sec
Zuflußgeschwindigkeit von den Sinnesorganen ca. $10^7$ bit/sec
Die Werte $K_k$, $c_k$ und $c_v$ sind altersabhängig

**Abbildung 20-6: Kybenetisches Modell des menschlichen Gedächtnisses**

Das Gehirn verarbeitet die sensorielle Information nicht eins zu eins, sprich analog, sondern kreiert aus der Fülle aller Informationen resultierende Geschehensbilder, sogenannte **Ikonen**. Diese erfahrungsgefärbten mentalen Abbildungen/Hirnaktivitäten der physischen Welt stellen dabei das Rohmaterial für die weitere Be- und Verarbeitung durch die bewertenden Hirnstrukturen dar, wobei sie neben der reinen Merkmalsextraktion auch die mit diesen Merkmalen verbundenen Erfahrungsbibliotheken, sprich durch eine frühere Bewertung/Bearbeitung evaluierten Konzepte aktivieren.

Die Ikonenbildung besteht im wesentlichen aus zwei Teilvorgängen:

- der genetisch und damit unbewußt vorgegebenen Merkmalsextraktion

und

- einer bewußtseinsgesteuerten bzw. durch angelernte Verhaltensweisen oder Reflexe bedingten automatisierten Kreierung der eigentlichen Ikone durch eine geeignete Aktivierung der situationsrelevanten Erlebnisinhalte und Repräsentierungen des momentanen Sinneserlebens.

Rein kybernetisch gesehen werden im ersten Verarbeitungsschritt die einlaufenden Nervenimpulse für die höheren Verarbeitungszentren im Gehirn sinnvoll vorverarbeitet, indem aus den Sinnesmodalitäten bestimmte Merkmale herausextrahiert und andere Merkmale unterdrückt werden. Auf der zweiten Stufe werden diese problemspezifischen Informationseinheiten in erlebnisgefärbte, bedeutungsmäßig unterlegte Ikonen überführt, indem sie Gedächtnisinhalte durch den Aufbau der relevanten Aktivitätsmuster im Gehirn aufrufen. In Abbildung 7 ist das bisher gesagte noch einmal anhand eines kybernetischen Schemas aufgezeigt. Wie man sieht, repräsentieren die Ikonen die noch nicht bearbeiteten, rein sinnesmodial erzeugten Konzeptanteile.

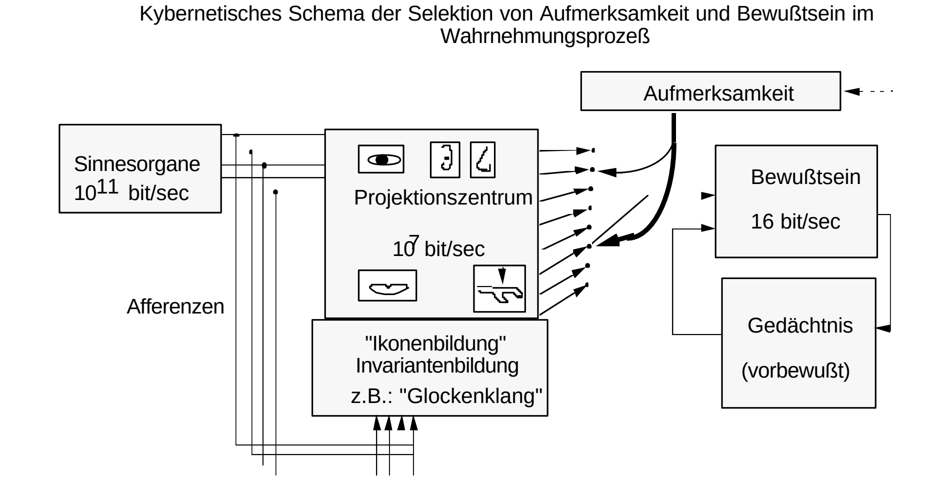



**Abbildung 20-7: Schematisierter menschlicher Wahrnehmungsprozeß**

Die Überführung der Menge der Sinnesmodalitäten in Erlebnisbilder/Ikonen stellt somit die Schnittstelle zwischen den außerhalb der Strukturkomponente Gehirn liegenden Sinnessensoren und dem interpretierenden Gehirn dar. Jeden Moment werden, unabhängig von Wachheitsgrad des Individuums, solche Ikonen erzeugt und über das Stellglied der Aufmerksamkeit durch das Bewußtsein selektiert und weiterverarbeitet. Die verschiedenen sinnesmodial erzeugten Ikonen stellen zusammen mit den durch sie aktivierten Konzepten die Struktur dar, die in den Kognitionswissenschaften **Ultrakurzzeitgedächtnis** genannt wird. Das Ultrakurzzeitgedächtnis ist also nicht als lokale Komponente des Gehirns zu verstehen, sondern als Gesamtheit aller durch die Sinnesmodalitäten und/oder durch die internen Aktivitäten erzeugten aktiven Konzepte. Sein Umfang ist situationsspezifisch und bedingt die temporäre Aktivierung aller nachgelagerten Gedächtnis- und bedeutungsmäßig agierenden Strukturen. Der Inhalt des Ultrakurzzeitgedächtnisses, welcher durch das Bewußtsein nicht zur weiteren Bearbeitung selektiert wird, verblaßt nach 3 Sekunden unwiderruflich.

Das selektierende Momentum des Bewußtseins, die **Aufmerksamkeit**, wird sehr stark durch die zeitlich unmittelbar zurückliegenden Aktivierungen beeinflußt und wird oft mit einem Lichtkegel verglichen, der Szenen der inneren und äußeren Welt (die in den Ikonen kodiert vorliegen) "bewußtseinsmäßig" beleuchtet. Er repräsentiert somit die Dominanz des oder der momentan aktiven Konzepte. In Abbildung 8 ist die Aktionsweise der Aufmerksamkeit an Hand eines Beispiels schematisiert dargestellt.

Die Aufmerksamkeit des Maschienenbedieners ist auf die Statusanzeige gerichtet. Ohne Probleme wird der Ausfall von Pumpe 3 erkannt.

momentanes Interesse: Auslesen der Statusanzeige der Maschine

Pumpe 1: o.k.
Pumpe 2: o.k.
Pumpe 3: ausgefallen
Pumpe 4: o.k.

momentanes Interesse: Die Bedienung hinter der Theke in der Kantine

Statusbericht: Maschine 11:
Pumpe 1: o.k.
Pumpe 2: o.k.
Pumpe 3: ausgefallen
Pumpe 4: o.k.

Die Aufmerksamkeit des Maschinenbedieners ist auf die blonde Bedienung in der Kantine gerichtet. Er überfliegt die Statusanzeige, ohne den Ausfall von Pumpe 3 zu bemerken.

Durch ein Sirensignal wird die Aufmerksamkeit des Maschinenbedieners wieder auf die Statusanzeige gerichtet

Verschiebung des Aufmerksamkeitskegels durch Alarm-

Aktivierung der Aufmerksamkeit

Statusbericht: Maschine 11:
Pumpe 1: o.k.
Pumpe 2: o.k.
Pumpe 3: ausgefallen
Pumpe 4: o.k.

**Abbildung 20-8: Zur Struktur der menschlichen Aufmerksamkeit**

Aus einem für den Operateur "wichtigem" Ereignis resultiert ein eingeschränkter Aufmerksamkeitskegel, der zur Nichtdurchführbarkeit seiner momentanen Aufgabe führt. Erst durch die Aktivierung der Alarm- und Fluchtmechanismen gelingt es, den Aufmerksamkeitskegel des Operateurs dahingehend zu modifizieren, daß er seiner Aufgabe nachkommen kann.

Die mit Aufmerksamkeit belegten Strukturen weisen einen erhöhten Aktivitätsstatus auf und stellen die stoffliche Grundlage der momentanen Bewertungen und der Kreierung von Handlungsstrategien dar. Dieser gesamte mentale Akt wird im Gehirn abgelegt. Dadurch wird gewährleistet, daß ein momentanes Geschehen und die aus ihm gefolgerten Bewertungen und Handlungsweisen archiviert werden, so daß später in ähnlichen Situationen auf das Erlebte als bewertendes Material zurückgegriffen werden kann. Die Gesamtheit aller so abgelegten Erlebnis- und Erkenntnisstrukturen (abgelegten Strukturkomponenten) nennt man **Langzeitgedächtnis**. Die Kodierung und die eigentliche Umstrukturierung der Strukturkomponente Gehirn mit Hilfe der beschriebenen Proteinsynthese dauert ca. 30 Minuten und setzt neben der Aktivierung der relevanten Gedächtnisstrukturen vor allem Aktivierungsmechanismen voraus, die das natürliche Verschwimmen/Abklingen der im Ultrakurzzeitgedächtnis gespeicherten Bedeutungsinhalte verhindern. Man hat für diese Übergangsform des Gedächtnisses von einer verschwimmenden in eine permanente Struktur den Begriff des **Kurzzeitgedächtnisses** geprägt. Wohl bemerkt stellt das Kurzzeitgedächtnis für sich selbst keine eigene Gedächtnisstruktur dar, sondern entspricht vielmehr einem Verarbeitungszustand des Langzeitgedächtnisses, indem dieses ver-

sucht, einen sinnesmodial geprägten Zustand zu interpretieren und von der momentanen Bewertung über die interne Verarbeitung zur endgültigen Ablegung von Erfahrungs- und Bewertungswerten zu gelangen. Im Folgenden soll die Gesamtheit der während der Verarbeitung aus dem Langzeitgedächtnis heraus zu aktivierenden abgelegten Struturkomponenten und das momentane Kurzzeitgedächtnis als **aktive Verarbeitungskomponente** des Gehirns bezeichnet werden. Diese entspricht also einer situationsbedingten, temporär sich verlagernden Aktivitätsstruktur, die aus dem Ultrakurzzeitgedächtnis entspringt und sich durch eine aufmerksamkeitsbedingte Selbstimulanz erhält, um so erfolgsgeprägte Bedeutungsstrukturen zu evaluieren und zu archivieren.

Die verarbeiteten Bedeutungsstrukturen, niedergelegt im Langzeitgedächtnis, sind meist mit individuell als optimal bewerteten Reaktionsschemata verknüpft, die zusammen mit den evolutionsbedingten Panik- und Fluchtmechanismen ein Individuum in die Lage versetzen, schnell und angemessen auf bestimmte Reizkonstellationen zu reagieren. Dadurch soll u. a. verhindert werden, daß beim Aufkommen von Standardsituationen das Individuum immer und immer wieder unnötig bewußtseinsmäßige und damit zeitintensive Analysen vollzieht. Werden diese Bedeutungsstrukturen öfters "benutzt", so tritt eine immer stärkere Schematisierung ein, d.h. sie werden automatisiert, was schließlich zu ihrem völlig unbewußten Ablauf führt. Dieses an sich sehr ökonomische Prinzip birgt allerdings eine erhebliche Problematik in sich. Was nämlich in archaischen Zeiten den schnellen Zugriff auf (gelernte) Überlebensstrategien ermöglichte, führt in unserer heutigen komplexeren Welt oft zu (voreiligen) Aktivierungen von inneren Repräsentationen/Erfahrungsbildern, die entscheidende Komponenten der momentanen Situation (aufmerksamkeitsbedingt) übersehen und daher zu einer völligen Fehleinschätzung der geforderten Aktions-/Reaktionsschemata führen. Die Folge sind Fehlhandlungen.

In Abbildung 9 sind die besprochenen Struturkomponenten und die aus ihnen folgenden Reaktionsschemata noch einmal graphisch dargestellt. Gezeigt sind die verschiedenen Strukturkomponenten des Gehirns und ihre Aktivitätsstati. Die wichtigsten Interaktionen zwischen ihnen sind durch Pfeile angedeutet. Wie man sieht, hat die Strukturkomponente Gehirn nach diesem Modell eine Eingangskomponente, die durch die Sinne repräsentiert wird und drei verschiedene Reaktionsmechanismen, die das Eingreifen in die **Strukturkomponente Umwelt** gewährleisten.

**Abbildung 20-9: Zur Interaktion der menschlichen Gedächtnisstrukturen**

### 20.3 Bewußtsein

Wir haben bisher im kognitiven, wie in neurophysiologischen Teil definiert, daß die Bedeutungsfindung mit einem Regulativum verbunden ist, was wir Bewußtsein, bzw. Strukturkomponente Bewußtsein nennen. Das Wort Bewußtsein hat in unserem Alltagsgebrauch viele Bedeutungen. Bewußt kann verstanden werden als das Gegenteil von bewußtlos. Andererseits kann man seine Aufmerksamkeit bewußt auf etwas richten, bewußt zwischen verschiedenen Sinneseindrücken auswählen. Obwohl uns der Begriff Bewußtsein immer wieder gegenwärtige wird, hat keine Wissenschaft bis heute klären können, was Bewußtsein denn nun eigentlich ist und ob das Bewußtsein an eine minimale Konfiguration des zentralen Nervensystems gebunden ist, sprich ob Tiere auch Bewußtsein tragen oder nicht. Wir wollen im folgenden einige Thesen zum Problem der Definition des Bewußtseins erläutern und schließlich zeigen, daß auf der Grundla-

ge der Trias Träger-Muster-Bedeutung, Bewußtsein als die Materialisierung eines geistigen Prinzips verstanden werden kann, was letztlich dem Descart'schen Prinzip der Trennung von Körper und Seele entspricht. Letztlich muß aber die Frage, ob Bewußtsein ein synergetischer Effekt eines Milliarden von autonomen umfassenden Nervensystems oder nur eine zielgerichtete Inferenz von von mentalen Modellen getragenen Schemata ist solange unbeantwortet bleiben, so lange die Grundlagen der Qualitäten eines bewußt durchgeführten mentalen Aktes unbekannt sind. Es erscheint dem Autor durchaus möglich, daß hochkomplexe Systeme jedwelcher Art irgendwann aus sich heraus Bewußtseinsspuren entwickeln werden, doch bleibt die Frage, ob wir, mit Sicht auf unsere Definition eines allgemeinen Musterkenners diese Bewußtseinsakte auch erkennen werden können.

Es ist anzunehmen, daß Bewußtsein an ein **Selbstbewußtsein** gekoppelt ist, sprich, daß das Erkennen des Individuums in seinem Spiegelbild eine (höhere) Form des Bewußtseins darstellt. Das Wort Selbstbewußtsein hat dabei zwei verschiedene Aspekte. Einerseits gilt es als ein Maß dafür, wie gut sich jemand in seiner Umgebung durchsetzen kann, ohne dabei unangemessen aggressiv zu sein, stellt also ein mehr oder minder instinktives Verhalten dar, andererseits heißt Selbstbewußtsein, daß man sich mit seinen persönlichen Eigenarten kennt, sich über diese also im klaren oder ihrer auf einer rein geistigen Ebene bewußt ist. Bewußtsein kann aber auch eine Einstellung, ein Gesinnungsbewußtsein, meinen. Ob jemand im Sinne dieser Bedeutung ein richtiges oder falsches Bewußtsein hat, hängt dabei vom Bewußtsein des Betrachters ab. Bewußt wird ebenfalls gebraucht als Begriff für geplant, vorsätzlich. Außerdem kann Bewußtsein meinen, daß eine Person von einer Erkenntnis „durchdrungen" ist, also Denken und Fühlen bezüglich eines Sachverhaltes übereinstimmen. Wir sehen also, daß zumindest im Deutschen, der Begriff Bewußtsein vieldeutig, sprich schwammig verwendet wird.

Über das jeweilige Alltagsverständnis hinaus ist das Thema Bewußtsein in der Vergangenheit und auch heute noch immer wieder von Philosophen aufgegriffen worden. Bekannte Namen in diesem Bereich sind Popper, Descartes und Spinoza. Ihre Ansichten sollen im Folgenden beschrieben werden.

### 20.3.1 Das Bewußtsein im Spielgel der Ansichten von Descartes

René Descartes kam zum Nachdenken über das Bewußtsein, indem er sich fragte, auf was er sich denn wirklich verlassen könnte. Aus der Beobachtung, daß man das, was man in einem Traum erlebt, während des Traumes für wahr hält, hinterher aber nicht mehr, zog er den Schluß: Nichts und niemand kann mir garantieren, daß das, was ich sehe, höre und fühle, tatsächlich existiert; dies alles könnte Einbildung sein.

Während er darüber nachdachte kam er zu der Feststellung, daß zumindest er (nicht notwendigerweise sein Körper, jedoch sein Geist) existieren müsse, andernfalls könne er ja nicht über all das nachdenken. Die meisten kennen Descartes Einsicht: „Ich denke, also bin ich."

Er folgerte weiterhin, daß Wahrnehmung erst mit dem Denken, dem sich-über-etwas-bewußt-werden, abgeschlossen ist. Außerdem stellte er fest, daß der Geist nicht nur (vielleicht) existierende Körper wahrnehmen könne, sondern Objekte auch durch Vorstellung in seinen Gedanken schaffen und verändern könnte. Er zielt damit auf die **Abstraktionsfähigkeit des Denkens**. Seine Überlegung führten ihn schließlich zu der Erkenntnis das Geist und Körper zwei unterschiedliche Existenzen haben können (Leib-Seele-Problem).

### 20.3.2 Das Bewußtsein im Spielgel der Ansichten von Spinoza

Benedict de Spinoza erschloß das Wesen des Bewußtseins auf einem ganz anderen Weg. Er machte sich Gedanken über die Ethik seiner Umwelt und wie man darin Fortschritte erzielen könnte.

Seiner Ansicht nach könne man nur zuverlässige Erkenntnis über eine Sache erlangen „durch ihr Wesen oder durch Erkenntnis ihrer nächsten Ursache“. Das Ziel, das er vorschlug, war, rückschließend auf elementare „Ideen“ zu kommen. Diese bezeichnete er auch als **Verstandeswerkzeuge**. Auf diese Weise müsse man schließlich zum „vollkommenen Wesen“ kommen, „unsere Kräfte und die Ordnung der Natur“ erkennen und somit „uns leiten und uns Regeln aufstellen“, um sich „vor unnützen Dingen zu hüten“.

Spinoza betonte wie Descartes den Unterschied zwischen einem Objekt und dessen gedanklicher Beschreibung. Außerdem merkte er an, daß bei einem Objekt, das zu keinem anderen in Beziehung stünde, auch nicht von der Idee dieses Objektes auf die Idee anderer Objekte geschlossen werden kann.

### 20.3.3 Das Drei-Welten-Modell von Eccles und Popper

Das sogenannte **Drei-Welten-Modell** geht auf den Philosophen Karl Popper und den Neurophysiologen Eccles zurück. Es versucht, neurophysiologische Erkenntnisse und philosophische Erkenntnisse in einem Konstrukt zu vereinigen. Neu an diesem Modell ist, daß zu den zwei „klassischen“ Ebenen: Körper und Geist eine dritte Ebene, nämlich die der **Information** hinzukommt. Die Ebenen werden **Welten** genannt und interagieren ständig miteinander. Popper und Eccles gehen dabei davon aus, daß die geistige Ebene zeitlos, also unsterblich ist und sich in der Struktur des Gehirns materialisiert. Das Gehirn stellt sich in dieser Betrachtungsweise daher als Kommunikationsorgan einer geistigen Ebene in einer materiellen Welt dar.

Die Abbildung 10 zeigt das Zusammenspiel des selbstbewußten Geistes (entsprechend Welt 2), des psychischen Gehirns (Welt 1) und dessen gespeicherten Inhalten (Welt 3).

**Abbildung 20-10: Zum Drei-Welten-Modell von Popper und Eccles [Pop, Ecc]**

Die das Modell postulierenden drei Welten haben dabei die folgenden Strukturen:

Welt 1:

**physische Gegenstände und Zustände**

- anorganisch (Materie und Energie)
- biologisch (Struktur und Aktionen aller lebenden Wesen; Gehirne)
- Artefakte (materielle Substrate menschlicher Kreativität)

Welt 2:

**Bewußtseinszustände**

- subjektives Wissen
- Erfahrung von Wahrnehmung, Denken, Gefühlen, Absichten, Erinnerungen
- Träumen, kreativer Imagination

Welt 3:

**„objektive“ Kenntnisse**

- kulturelles Erbe kodiert in materiellen Substraten (philosophisch, theologisch, naturwissenschaftlich, historisch, künstlerisch, technologisch)
- theoretische Systeme (wissenschaftliche Probleme, kritische Argumente)

Zur Unterscheidung der Welten 2 und 3 sei angemerkt, daß Welt 2 die psychischen Zustände des betrachteten Individuums, Welt 3 dagegen die kollektiven Kenntnisse der gesamten menschlichen Kultur enthält. Der Begriff „objektiv“ in Welt 3 ist im Sinne der Redewendung „nach den derzeitigen Kenntnissen“ zu verstehen, „objektiv“ ist also nicht mit „wahr“ gleichzusetzen.

Das Drei-Welten-Modell setzt scheinbar voraus, daß die **Lokalisation des Bewußtseins**, bzw. die Lokalisation von zur Bewußtseinsbildung unbedingt notwendiger Hirnteile nicht nötig ist. Andererseits zeigen aber klinische Bilder, daß wenn man den sogenannten **Corpus Callosum**, der für den Signalaustausch der beiden Großhirnrinden zuständig ist, zertrennt und Anweisungen in das entsprechende Gesichtsfeld (dies kann man durch geeignete Blenden erreichen) projiziert, daß die linke Hand (und damit die rechte Hemisphäre) bei Aufgaben überlegen ist, welche die visuelle Wahrnehmung unregelmäßiger Muster erfordern. Andererseits entdeckte man, daß die rechte Hand (entsprechend die linke Hemisphäre) bei Tätigkeiten, die sprachliches und symbolisches Verständnis verlangen, die linke übertrifft. Dies führte zu der Erkenntnis, daß die linke Hemisphäre für symbolische Fähigkeiten, die rechte für visuelle Fähigkeiten prädestiniert ist. Erweiternde Experimente zeigten, daß beim Umgang mit komplexen akustischen Mustern ebenfalls die rechte Hemisphäre überlegen ist.

Befragungen dieser **Kommissurotomie-Patienten** zeigten zudem, daß das bewußte Erleben allem Anschein nach nur in der linken Gehirnhälfte stattfindet und die linke Körperseite, die ja von der rechten Gehirnhälfte gesteuert wird, eine Art Eigenleben führt. Aus diesem Grund wird die linke Hemisphäre als **dominant**, die rechte als **subdominant** bezeichnet.

Die Folgerung, daß nur die linke Hemisphäre bewußt agieren kann, ist jedoch „mit Vorsicht zu genießen“, da die Patienten sich ja mittels Sprache äußern, deren Ursprünge in der linken Hälfte der Großhirnrinde angesiedelt sind. Woraus folgt, daß nur die rechte Körperseite „über ihre Aktivitäten berichten“ kann. Es ist also durchaus begründet, von der Existenz eines „zweiten Bewußtseins“ in der rechten Hemisphäre auszugehen, welches sich aber nicht verbal artikulieren kann. Wie sich die „zwei Individuen“ im unbeschädigten Gehirn untereinander abgleichen, so daß es eine einheitliche Person ergibt, ist bis heute nicht geklärt.

Wie eben dargestellt, ist nach außen hin scheinbar nur die linke Hemisphäre bewußtseinsfähig, da sich mit Hilfe der sprachbildenden Zentren verbalisieren kann. Das die Präsents der sprachbildenden Zentren aber nicht die ausschließliche Prämisse für die Bewußtseinsbildung ist, zeigen Studien an Patienten nach schwerwiegenden operativen Eingriffen an den für Motorik und Symbolik verantwortlichen Hirnbereichen, sowie an Teilen des Präfrontallappens und der polymodalen Felder. Eccles und Popper postulierten auch auf Grund dieser Ergebnisse, daß der selbstbewußten Geist mit verschiedenen Modulen des Hirns in Verbindung treten kann, um sich

über die Struktur ihrer Aktivität in der hiesigen Welt zu manifestieren. Diese momentan „infiltrierten“ Hirnbereiche nannten sie **Liaison-Hirn**. Mit welchen Modulen der selbstbewußte Geist tatsächlich in einem bestimmten Augenblick in Kontakt steht, soll dabei von der willkürlichen Auswahl durch den selbstbewußten Geist abhängen. Die im jeweiligen Moment kontaktierten Module nannten sie **offene Module**.

Dem Modell nach kann der selbstbewußte Geist aus den offenen Modulen Informationen auslesen oder das Gehirn steuern. Die rechte Hemisphäre besitzt zwar keine offenen Module, kann aber über dem Umweg der Corpus Callosum erreicht werden.

Es ist strittig, ob sich das Bewußtsein tatsächlich allein in den zum Liaison-Hirn zusammengefaßten Bereichen lokalisieren läßt. Eine Einschränkung der Manifestation des Bewußtseins auf die von Eccles angenommen Module könnte daher möglicherweise in eine Sackgasse führen. Andererseits hat das Drei-Welten-Modell den Vorteil der Anschaulichkeit, schon weil der selbstbewußte Geist quasi als eine Person auftritt, die dem Gehirn Informationen bewußt entnimmt und den Menschen mittels der offenen Modulen des Gehirns bewußt steuert. Oder anders gesagt, das Drei-Welten-Modell läuft mit unserem Schema über eine personifizierte Bewußtseinscharakterisierung konform.

Nachteilig für das Verständnis des Bewußtseins an sich ist jedoch, daß nun zwar das Bewußtsein nicht mehr im gesamten Hirn gesucht wird, sondern sich auf den selbstbewußten Geist verschiebt, dieser sich aber Untersuchungen offensichtlich noch mehr entzieht. Gegenüber der ursprünglichen Betrachtungsweise, die das Bewußtsein im Gehirn sucht, ist der selbstbewußte Geist ein „Gehirn im Gehirn“. Das Drei-Welten-Modell ist somit ein gedankliches Modell, daß auf experimentellem Weg nur schwer weiter erforschbar ist.

### 20.3.4 Wahrnehmung und Wahrprägung

Selbstverständlich haben sich nicht nur Philosophen mit dem Bewußtsein beschäftigt, es gibt auch naturwissenschaftliche Erklärungen, wie es zu der Erfahrung des Bewußtseins kommt. Im Mittelpunkt dieser Forschungen steht aber nicht die Frage, ob es eine Leib-Seele-Trennung gibt und wie diese beiden Formen miteinander agieren, sondern der Fragenkomplex:

- Wie kommt Reflexion zustande, also der Umstand, daß wir uns - sofern wir unsere Aufmerksamkeit darauf lenken - darüber bewußt sind, daß wir denken, fühlen oder handeln ?
- Welche Bedingungen müssen dazu erfüllt sein ?

„Natürlich“ ist bei diesen Forschungen bis heute noch kein generell anerkanntes Modell evaluiert worden, doch haben alle Theorien und kybernetischen Modelle eins gemeinsam, wenn sie

definieren: Ein wesentliches Element des Bewußtseins ist das Zusammenspiel der sog. (Sinnes-) **Wahrnehmung** und der sog. **Wahrprägung**.

Unter Wahrnehmung versteht man dabei das gegenwärtige Erfassen der eigentlichen Sinneseindrücke, z.B. den Anblick dieses Blattes oder den Klang eines Musikstückes, während mittels der Wahrprägung die Bewertung des gerade Wahrgenommenen aufgrund unserer Erfahrungen geschieht. Aus diesem Grund wird auch von einem **Erfahrungssystem**, das auf unseren früheren Wahrnehmungen beruht, und einem **Erfassungssystem** für die augenblicklichen Reize gesprochen.

Während das Erfahrungssystem nur im Wachzustand aktiv ist (im Schlaf nehmen wir keine bewußte Bewertung vor), arbeitet das Erfassungssystem ständig. Dies ist auch der Grund, warum man durch ein lautes Geräusch aufwacht oder trotz Lageänderungen im Schlaf nicht aus dem Bett fällt.

Nach den gängigen Vorstellungen ergibt sich die Qualität „Bewußtsein“ nur, wenn beides, also Wahrnehmung und Wahrprägung, vorhanden ist. Ohne Wahrprägung können wir unseren Wahrnehmungen keine Bedeutung beimessen; ohne Wahrnehmung können wir keine Erfahrungen sammeln, die unsere Wahrprägung bedingen.

Natürlich erinnert uns dies an die neurologische Tatsache, daß Reize aus der Außenwelt und aus dem Körper auf zwei verschiedenen Wegen zum Gehirn geleitet werden. Nämlich über das spezifische und unspezifische Nervensystem. So hatten wir ja gesehen, daß von der Formatio recticularis aus einmal die sinnessensorischen Reize einen „direkten“ Weg mit wenigen Synapsenübergängen zu den spezifischen Projektionsfeldern der Großhirnrinde nehmen, während „auf einer zweiten Schiene“ die selben Reize durch ein Geflecht von Leitungsbahnen geleitet werden, wodurch es zu einer unspezifischen Reizmischung und zu einer Aktivierung der Assoziationsfelder kommt (siehe Abbildung 20-11).

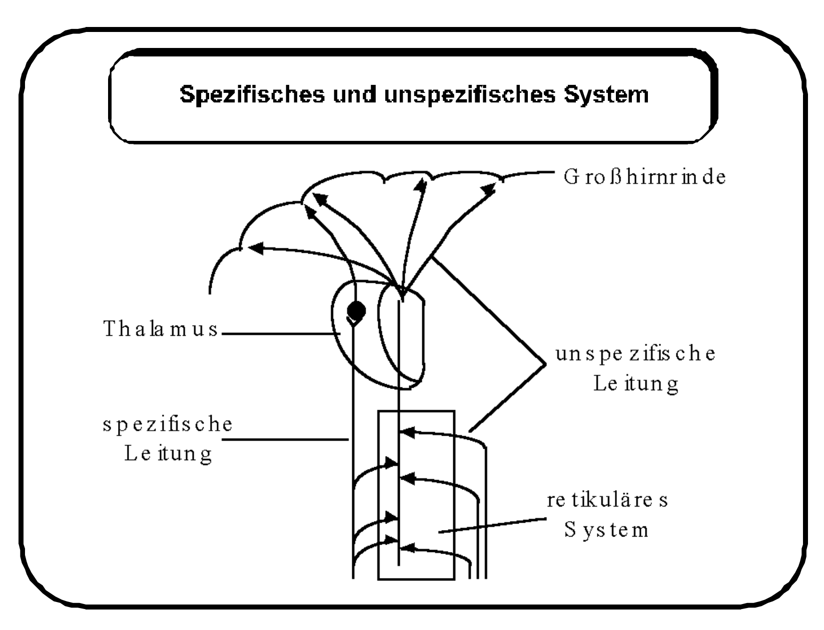



**Abbildung 20-11**

Fast man all diese Erkenntnisse zusammen, so gelangt man zu dem in Abbildung 20-12 gezeigten Diagramm, daß die Eigenschaften der Wahrnehmung und der Wahrprägung zusammenfaßt. Nach diesem Diagramm trägt die Wahrprägung die Schemata und Skripte, die zur Ich-bezogenen Bewertung der sensoriellen Reize als Teil der Bewußtseinsbildung nötig sind und unabhängig vom momentanen sensorielle Geschehen stabil aber modifizierbar existieren. Dagegen repräsentiert die Wahrnehmung die ikonisierte Vergegenwärtigung der momentanen Umwelt, gefiltert durch die Alarm- ,Reflex-, und Lebenserhaltungsreaktionen des Hirnstammes.

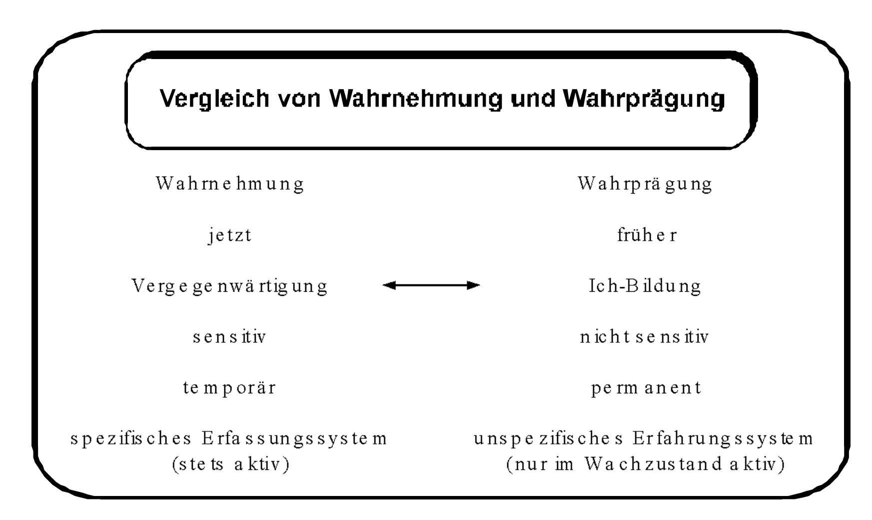



**Abbildung 20-12**

**Wir merken uns:**

Eine geschlossene Theorie was Bewußtsein ist und wo es entsteht gibt es nicht. Bewußtsein kann aber als eine Qualität verstanden werden, die durch das Zusammenspiel der Wahrnehmung, als Vergegenwärtigung der momentanen sensoriellen Reizkonstellation und der Wahrprägung, als Repräsentant der vom Individuum evaluierten Skripte und Schemata erzeugt wird. Die Frage, ob Bewußtsein an eine nichtmaterielle, sprich geistige Existenz gebunden ist, ist auch durch die modernen kognitionswissenschaftlichen Experimente nicht verifizierbar. Die Existenz einer nichtmateriellen Form des Bewußtseins steht nicht im Widerspruch zu den gängigen Theorien und Modellen der Kognitionswissenschaften. Sollte eine rein geistige Form des Bewußtseins existieren, so würde sie die neurologische Trägerstruktur im Laufe der Entwicklung des Individuums so modifizieren, daß sie durch sie mit und in der materiellen Welt agieren kann. Sprich sie würde sich sukzessive materialisieren bzw. die Struktur der materiellen Welt sukzessive erfassen und unter zur Hilfenahme ihrer Schemata/Skripte mental erfassen/begreifen.

## 20.4 Denken

Haben wir uns bisher mehr mit den theoretischen Grundlagen der menschlichen Informationsverarbeitung befaßt, so soll nun etwas genauer auf die praktischen Aspekte des Denkens und Problemlösens eingegangen werden.

Schon die alten Griechen machten sich Gedanken darüber, was Denken ist, was also in uns vorgeht, wenn wir reden, sprechen oder Probleme lösen. Die ersten, die sich damit beschäftigt haben, waren die Philosophen. Platon z.B. definierte das Denken als eine Art inneren Dialog, in dem sich die Seele im hin und her ihrer widersprüchlichen Meinungen über einen Gegenstand Klarheit zu verschaffen sucht. Aus diesen Anfängen entwickelte sich eine jahrhundertelange Debatte, die bis heute anhält.

Im 19. Jahrhundert begann man, das Denken wissenschaftlich zu untersuchen. Pièrre Flourens konnte 1824 nachweisen, daß allein und ausschließlich das Nervensystem der Träger für alles Psychische ist. Viele alte Vorstellungen, die bis dahin existierten und bis heute in unserem Sprachgebrauch weiterleben, mußten aufgegeben werden. Als Beispiel sei hier genannt, daß das Gefühl aus dem Herzen kommt.

Auch heute noch ist die Definition des Vorganges „Denken“ schwer. Der Brockhaus definiert es wie folgt:

„Denken ist die Fähigkeit des Menschen, die Umwelt nicht nur unmittelbar wahrzunehmen, sondern sie, einschließlich vergangener und zukünftiger Änderungen, innerseelisch zu repräsentieren. Dies geschieht durch Vorstellungen, Zeichen (Wörter, Schriftzeichen, Gesten...), Begriffe, Urteile, logische Schlüsse, auch Akte des Meines. Im weitesten Sinne bezeichnet Denken eine seelische Tätigkeit, deren Objekte durch innerseelische Repräsentationen gegeben sind. In diesem Sinne gehört auch Erinnern, Phantasie und Traum zum Denken. Jeder Denkprozeß ist eingebettet in die Assoziationen und Bezugssysteme des Denkenden, die teils befruchtend als neue Gesichtspunkte, teils störend als Abschweifungen auftreten können. Denken gründet sich im Allgemeinen auf Erfahrung, die durch Denkprozesse verarbeitet wird. Daher ist Denken die Grundlage des gezielten Handelns, der Planung, der wissenschaftlichen Arbeit, überhaupt der Zivilisation und der Technik.“

### 20.4.1 Modelle über die Realisation des Denkvorgangs

In den letzten Jahrzehnten wurde mehrere Modelle, was Denken ist und wie es sich vollzieht entwickelt. Allen gemein ist, daß Denken als ein Prozeß aufzufassen ist, der Zeit braucht, sprich mehr einer ausführlichen Koordinationsaufgabe der Hirnaktivitäten als einem temporär singulären Ereignis entspricht. Zudem scheint klar, daß Denken immer eine Verifizierung der mentalen Modellvorstellungen der Realität und der erlebten Realität beinhaltet, sprich immer mit einer

Elaboration verbunden ist. Aufmerksamkeit und Bewußtsein stellen dabei die Regulatoren des Denkvorgangs dar, während die Schemata und Skripte die Verifizierungsgrundlage dieser Regulatoren sind.

Beachtet werden muß dabei, daß einerseits die Wirkung einer **Bedeutungsschöpfung** (und damit des Denkens) zur Veränderung des Trägers führt, psychische Vorgänge also ohne eine Bedeutungsgrundlage nicht möglich sind, andererseits zur Bedeutungsschöpfung Träger und Muster notwendig sind.

Aus dieser nicht auflösbaren Verknüpfung folgt, daß bei der Geburt des Menschen sowohl Träger als auch Muster und Bedeutungen als Keim der bewußtseinsfähigen Struktur bereits vorliegen müssen und zumindest ein, wenn auch noch so simpler, Denkvorgang initiiert werden muß. D.h. aber das sowohl Denkschemata als auch Bewußtseinsevaluation genetisch kodierbar sein müssen. Diese Forderungen sind ein Ausdruck des Kausalitätsprinzips, nachdem die Wirkung (hier: Bewußtsein) aus der Ursache (hier: bewußtseinsfähige Struktur) folgt.

Analysiert man das eben gesagte, so stellt die ständige Elaboration des Weltwissens aus einem „Denkkeim" eine nicht ruhende Auseinandersetzung des Individuums mit seiner Umwelt dar. Es stellt sich daher die naheliegende Frage, wie sich einzelne Menschen im Kontakt mit ihrer Umwelt verändern. Träger und Muster liegen nicht nur im menschlichen Gehirn vor. Die Sinneswahrnehmungen hängen von den Trägern in unserer Umgebung ab, die wir sehen, hören und fühlen. Die mit den Trägern der Umwelt verbundenen Muster beeinflussen die inneren Muster; es kommt zu einem **Musteraustausch**. Da sich die analysierten Muster, denen ja eine Bedeutung zugeschrieben wird, auf Grund der evaluierten Erfahrung, sprich Komplexität der mentalen Modelle dem „individuellen Blick" immer mehr anzupassen scheinen, spricht man auch von einem **Musterabgleich**. Andererseits kann der Mensch natürlich auch auf der Basis der mit seinen Mustern verbundenen Bedeutungen die Muster der Umwelt verändern. Auch hier gibt es einen Musteraustausch.

Durch vielfältige Prozesse kommt es zu Schleifenstrukturen, also Rückkopplungen, in denen Wirkungen wieder Ursachencharakter annehmen können. Dies führt zu einer sogenannten **Wandlungsunruhe** und ermöglicht eine gewisse psychische Beweglichkeit, die auch **Motivationsfreiheit** genannt wird. Diese Motivationsfreiheit ist nicht als völlige Handlungsfreiheit zu verstehen, wohl aber als eine gewisse Voreinstellung. Auf der Bedeutungsebene des Psychischen bildet sich so eine gefühlsmäßige Färbung der eigenen Wahrnehmung, die auch pathologische Züge annehmen kann. Im letzten Fall wird die Realität verschoben erlebt. Das klinische Bild eines unter Verfolgungswahn leidenden Menschen wäre ein Beispiel für solch eine verschobene Realität.

Die Verknüpfung von psychischen Trägern und psychischen Bedeutungen über Muster ist ein mächtiges, aber auch sehr abstraktes Modell, das eine Interpretation der Mensch-Umwelt-Wechselwirkung erlaubt. Um das Modell in seiner Anwendbarkeit zu verbessern, müßten die Bedeutungen der Muster entschlüsselt werden, ein Unterfangen, welches momentan bar jeder

Realisierung liegt, schon weil man nicht weiß, ob es überhaupt Metaformen der Aktivitätsmuster gibt.

Das einzige Überindividuelle was man heute aus den Aktivitätsmustern z.B. an Hand der EEG-Muster oder der PET-Muster auslesen kann, ist, daß es im Gehirn bei der Verarbeitung von Wahrnehmungen und bei Denkprozessen zu zeitlichen Taktungen kommt. Wir haben ja gesehen, daß jeder mentale Akt eine neuronale Aktivierung in den verschiedensten Bereichen des Gehirns bedingt, wobei diese topologisch unterschiedlichen Aktivitätszentren zur Bildung einer Gesamtaktivität zeitlich und räumlich miteinander verknüpft werden müssen. Man vermutet, daß dies über zwei zeitliche Mechanismen geschieht. Der erste Takt wäre ein hochfrequenter Mechanismus mit einer Periode von etwa 30 Millisekunden. Er stellt Systemzustände bereit, innerhalb derer es möglich ist, räumlich übergreifende Bindungsoperationen herzustellen. Der zweite ist ein niederfrequenter Mechanismus, der eine Periode von etwa zwei bis drei Sekunden hat. Er definiert Intervalle, innerhalb derer die Systemzustände des ersten Mechanismus unabhängig vom Inhalt miteinander verbunden werden.

In diesen Zeitintervallen müssen die folgenden Aufgaben abgearbeitet werden:

- **Aufnahme** (Wahrnehmung)
- **Bearbeitung** (Initiierung des Lernens, Gedächtnisumkonfiguration, Assoziation)
- **Bewertung** (Gefühle)
- **Aktion/Reaktion** (z.B. Sprechen)

Für diese Bereiche wird angenommen, daß das Prinzip der modularen Repräsentation gilt. Dies bedeutet, daß die Bereiche (Module) miteinander verbunden sind und erst diese Verbindung eine psychische Funktion ermöglicht.

Befindet sich der Mensch in einem Aktivationszustand, also im bewußten Zustand, der es uns ermöglicht, Reize zu verarbeiten, und wird ein Reiz aufgenommen, so kommt es, wie gesehen, zu einer erhöhten Aktivität der einzelnen Module. Damit aus der Aktivität der Einzelmodule ein Gesamtergebnis definiert wird, wird eine Art Uhr angenommen, die einen Gesamtzustand definiert, in dem aber die zeitliche Komponente keine Rolle spielt. Die Dauer dieses Zustandes wird aufgrund experimenteller Befunde auf etwa 30 ms geschätzt. Innerhalb dieses Zeitabschnittes sind wir in der Lage, einzelne Ereignisse zu definieren, also bewußt wahrnehmen zu können.

Das solch eine Minimalzeittaktung existieren muß, folgt auch schon aus der Tatsache, daß, bedingt durch die hohe Anzahl von Schaltstellen des unspezifischen Systems die durch das reticul‰re System aktivierten Module der höheren Neocortex-Regionen zeitlich versetzt stimuliert werden, woraus folgt, daß die bereits vorliegenden Erregungen desselben Erlebensmusters in den spezifischen sensorischen Feldern "rückdatiert" werden müssen, um so ein zeitlich gleichdatiertes gemeinsames Aktivitätsmuster beider Systeme zu gewährleisten. D.h. aber, daß die Existenz des spezifischen und unspezifischen Reizweiterleitungssystems die Forderung nach

einem zeitlichen Koordinationssystem im Gehirn impliziert, das die Informationsweiterleitung, deren zeitliche Etikettierung und den globalen Aktivitätsmusteraufbau gewährleistet, weil sonst 'informations-logistische' Probleme auftauchen.

Als einfachster Takt eines solchen Koordinationsrhythmus kann dabei die Zeit, die für den gemeinsamen Aktivitätsaufbau zwischen verschiedenen, topologisch auch weit getrennten Hirnarealen benötigt wird, vermutet werden. EEG-Messungen zeigen denn tatsächlich, daß Reizantworten eine starke Häufung nach 210, 240 und 270 ms Bearbeitungsdauer aufweisen, man also davon ausgehen kann, daß nach einem Reiz die verschiedenen einzubindenden Module in den oben angegebenen Zeitintervallen aus der Mittelhirnstruktur heraus angeregt werden und im gleichen Takt durch die gegenseitige Aktivierung weiterschwingen, und zwar so lange, bis die Aktivierung der angeregten Neuronenmodule abflacht [Pöppel, Schill]. Da diese Taktung bei narkotisierten Probanden nicht mehr nachweisbar ist, wird die These, daß die Koordination mit dem Aktivierungsaufbau der spezifischen und unspezifischen Module zusammenhängt, bestärkt, woraus man schließt, daß diese 30-40 Hz Taktung sowohl für unser Zeitempfinden als auch für die Definition mentaler Ereignisse, sprich Denken, nötig ist. Die mentalen Ereignisse, die in diesem 30 ms Zeitraum definiert wurden, werden nun zu **Wahrnehmungsgestalten** zusammengefaßt. Die Einzelereignisse werden also in einen breiten Kontext gestellt. Für diese Integration wurde eine Maximalzeit von etwa drei Sekunden ermittelt.

In **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** ist die zeitliche Integration von sinnesmodialen und/oder internen Aktivitäten schematisiert aufgezeigt [Pöppel].

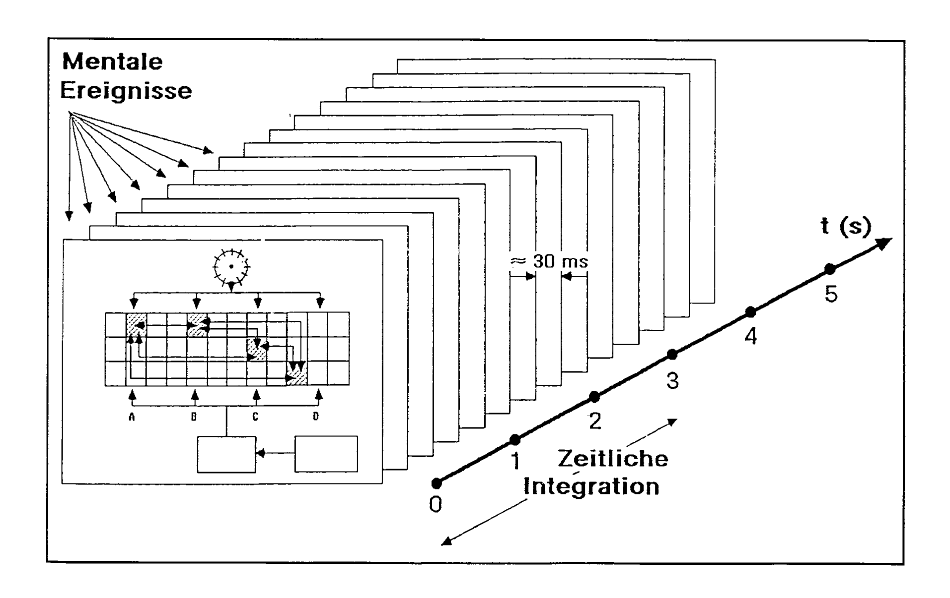



**Abbildung 20-13:** Zur Zeitetikettierung mentaler Prozesse

Die hier gezeigten **Zeit-Karten** entsprechen dabei dem **Koordinationszeittakt** von ca. 30 ms, indem sich die verschiedenen globalen Aktivitätsmuster aufbauen. Angedeutet ist dies durch das teilweise dunklere Schachbrettmuster. Da diese Grundaktivitäten erst mit der Zeit abklingen,

beeinflussen sie über den induzierten Aufmerksamkeitskegel die Aktivitätsstruktur der nachfolgenden Karten, wodurch das Gefühl eines stetigen Zeiterlebens entsteht. Überdauernde Aktivitäten werden dann in die erlebnistragenden Strukturen des Gedächtnisses integriert. Es existieren somit in den konditionierbaren Hirnbereichen drei unterschiedliche Taktungen, sprich temporäre Aktivitätsmusterstabilitäten. Einmal der 30 ms Koordinationstakt, zweitens der 3 Sekunden Abklingtakt und drittens ein ca. 30 minütlicher Kodierungstakt. Wird einer dieser Taktstrukturen z.B. durch ein traumatisches Erlebnis unterbrochen (Unfall z.B.), so wird die kodierungsmäßige Niederlegung des Erlebten unterbrochen, man spricht dann von retrograder Amnesie.

Neben diesen anatomisch bedingten Grundrhythmen existiert noch eine vierte Art von Rhythmus, der aber absolut variabel ist und stark an das die gefühlsmäßige Färbung des Erlebens erzeugende limbische System gekoppelt ist. Bedingt durch interne Aktivierungsschleifen können nämlich momentane Aktivitätsmuster auch nach der Integration in die Strukturkomponente Gehirn weiter auf einem erhöhten Aktivitätsstatus gehalten werden, wenn, bedingt durch die internen Vorgaben bezüglich der Optimierung des Agierens der Strukturkomponente Gehirn in seiner Umwelt, das Aktivitätsmuster als nicht konform mit den inneren Zielvorgaben erscheint. Dieser erhöhte Aktivierungsstatus führt dann zu einer permanenten (meist unbewußten) Separierung des sensoriellen Merkmalsraums, d. h. die aktiven Module "suchen" resonatorisch nach Merkmalen, um das evaluierende Aktionsmuster weiter zu stabilisieren, wodurch seine weitere Verarbeitung gewährleistet wird. (Etwas einfacher ausgedrückt: Wenn man ein Problem hat, sucht man sich die mit diesem Problem zusammengehörenden Sinneseindrücke aktiv heraus, um sie zur Bewältigung des Problems zu benutzen, auch wenn dabei Jahre vergehen.) Die zeitliche Dimensionierung solcher "mentalen Zyklen" ist erfahrungsbedingt, da sie von inneren Zielvorgaben abhängt.

### 20.4.2 Schlußfolgerndes Denken

Unter **schlußfolgerndem Denken** versteht man den Prozeß, mit dem Menschen logische Argumente bewerten und entwickeln. Bei diesem **deduktiven Schließen** werden aus den Prämissen eines Arguments mit Gewißheit auf Konklusionen geschlossen, wobei sog. **Schlußregeln** vorschreiben, wann eine Konklusion aus einer Reihe von Prämissen folgt. Die meisten Modi, die verwendet werden sind der **Modus Ponens**, die bejahende Abtrennungsregel (Wenn A dann B) und der **Modus Tollens** (A impliziert B und B ist falsch, dann ist A auch falsch).

Schlußfolgerndes Denken folgt dabei aber oft nicht den Vorschriften der (mathematischen) Logik, da Menschen wahre Konklusionen oft nicht als gültig betrachten, bzw. Konklusionen für

gültig betrachten, obwohl sie nicht wahr sind, woraus folgt, daß ihre Inferenzmechanismen nicht immer korrekt sind.

Eine andere Art des Schließens ist das **konditionale Schließen**, daß immer dann angewendet wird, wenn Implikationen oder konditionale Sätze vorgegeben sind. Das konditionale Schließen ist eine Deduktion, die Bedingungssätze der Art Wenn A dann B für die Propositionen A und B enthält. Menschen machen bei Aufgaben zum konditionalen Schließen Fehler, weil sie die Bedeutung von wenn falsch interpretieren und nicht die Schlußregel des Modus Tollens (verneinende Abtrennungsregel) anwenden. Der Modus Tollens erlaubt, ausgehend von den Prämissen: Wenn A dann B und B ist falsch zu schlußfolgern, daß A falsch ist.

Oft ist menschliches Wissen mit logischen Verknüpfungen, die man auch **Quantoren** nennt, wie *alle, einige, keine* oder *einige nicht* gekoppelt. Sollen Aufgaben zum schlußfolgernden Denken, die diese Quantoren enthalten gelöst werden, so nennt man sie **kategorische Syllogismen**. Wie Untersuchungen zeigen, tun sich die meisten Menschen schwer mit solchen Aufgaben, da sie auch ungültige Konklusionen akzeptieren - und zwar immer nach einem ganz bestimmten Muster: Ähnelt die Folgerung der Prämisse, so wird sie akzeptiert (**Atmosphärenhypothese**). Der Atmosphärenhypothese liegt zugrunde, daß Menschen im Umgang mit kategorischen Syllogismen sich auf eine Reihe von Problemlösungsheuristiken verlassen, die normalerweise gute Ergebnisse liefern. Die Überführung der Aufgaben in sog. **Venn-Diagramme**, in denen Klassen von Objekten durch Kreise repräsentiert werden, können logische Überlegungen über kategorische Syllogismen vereinfachen.

Neben dem deduktiven Schließen wird oft das **induktive Schließen** verwendet. Das induktive Schließen besteht aus zwei Teilvorgängen: der **Hypothesenbildung** und der **Hypothesenprüfung**. Die Hypothesenbildung unterliegt dabei der natürlichen Beschränkung die notwendige Informationen zu aktivieren und der Schwierigkeit negative Informationen (die nicht in die Hypothese passen) zu nutzen. Die Hypothesenprüfung entspricht einer Wahrscheinlichkeitsabschätzung, die mit Hilfe von Heuristiken vollzogen wird.

### 20.4.3 Individuelle und soziale Bedingungen des Denkens

Um Denkprozesse besser verstehen und/oder erklären zu können, ist es notwendig, auch deren emotionale und motivationale Bedingungen zu berücksichtigen, da individuelle Motive die Sensibilisierung des Individuums, ob überhaupt „nachgedacht werden soll“, induzieren. So zeigt sich z.B., daß die Motivation zur Zielerreichung und damit zum Beginnen eines Denkprozesses

mit der subjektiv empfundenen Annäherung an das Ziel zwar steigt, aber durch eine zu starke Motivation es zu einer **Lösungsweg-Fixierung** und Einengung des Suchraumes kommen kann.
Die emotionale Belastung bei Denkprozessen führt hingegen oft bei einer zu großen Belastung zu Tendenzen der

- **Ersatzbefriedigung**
  das Individuum „beschränkt“ sich mit anderen erreichbaren Sachen
- **Ablenkung**
  Es werden problem-irrelevante Handlungen vollzogen
- **Aggression**
  Das Individuum reagiert aggressiv gegen seine Umwelt
- **Regression**
  Es wird oft auf kindliche Vorstellungen zurückgegriffen (Wunderglaube etc.)
- **Rationalisierung**
  Die Situation wird als sinnlos und das Ziel als unerreichbar bezeichnet

Alle fünf beobachtbaren Reaktionsweisen sind ein Ergebnis der empfundenen Frustration und stellen Streßreaktionen dar, die wie gesehen zu einer automatischen Resourcenbeschränkung der mentalen Kapazitäten führen.
Die motivierende Wirkung der Anwesenheit anderer Personen kann dahin gehend definiert werden, daß die Motivation und das Handeln von Antizipation bewertender Stellungnahmen durch die Anderen abhängt, egal, ob diese unmittelbar anwesend sind oder nicht.

## 20.5 Problemlösen

Das Unvermögen, nicht ad hoc schlüssig Erlebtes, oder Gedachtes be- und verarbeiten zu können, führt uns auf den folgenden Themenkomplex, der die Mechanismen des **Problemlösens** behandeln soll. So haben kognitionswissenschaftliche Experimente gezeigt, daß es trotz der individuellen Ausprägung des Gedächtnisses nur einige Schemata gibt, nach denen der Mensch Probleme zu lösen versucht. Die Herausarbeitung einer (fast) geschlossenen Theorie des menschlichen Problemlösevorgangs bedingt allerdings, daß man bestimmte Annahmen über das Wesen eines Problems und über die verschiedenen Strategien, wie der Mensch ein Problem definiert und welche Strategien er verwendet, um den durch seine objektive und subjektive Bewertung eines Zustandes definierten Problemzustand bearbeiten zu können, macht.

### 20.5.1 Definition des Begriffes „Problem“

Nach Duncker steht ein Individuum genau dann vor einem **Problem**, „wenn es ein Ziel hat und nicht 'weiß', wie es diese Ziel erreichen soll“. Nach dem oben gesagten impliziert diese Defi-

nition aber gerade, daß wo immer der gegebene Zustand sich nicht durch bloßes Handeln (Ausführen selbstverständlicher Operationen) in den erwünschten Zustand überführen läßt, das Denken als Werkzeug zur **Problemlösung** auf den Plan gerufen wird. Im Gegensatz dazu ist eine **Aufgabe** dadurch gekennzeichnet, daß bei ihr „lediglich der Einsatz bekannter Mittel auf bekannte Weise zur Erreichung eines klar definierten Ziels gefordert“ ist. Vom Problemlösen ist daher genau dann die Rede, wenn „ein unerwünschter Ausgangszustand in einen erwünschten Endzustand transformiert werden soll, diese Transformation jedoch durch eine „Barriere“ behindert wird.“

Bezogen auf die eben angegebenen Definitionen des Problems und der Aufgabe, kann man also sagen, daß ein Problem immer dann vorliegt, wenn „die Mittel zum Erreichen eines Zieles unbekannt sind oder die bekannten Mittel auf neue Weise zu kombinieren sind, aber auch dann, wenn über das angestrebte Ziel keine klaren Vorstellungen existieren.“ Daraus folgt, das der Vorgang des Problemlösens immer mit der Elaboration und Rekonstruktion von Gedächtnisinhalten und der Anwendung von Wissen, wie Problemlöseaktivitäten anzuwenden sind, verbunden ist. Die erste Art von Wissen nennt man **deklaratives Wissen**, die zweite Art **prozedurales Wissen**, wobei die zweite Art auch das Wissen, wie kognitive Handlungen auszuführen sind beinhaltet. Beim prozenturalem Wissen können nun bestimmte Merkmale bestimmt werden, die ein Problemlöseverhalten kennzeichnen.

An Hand von Versuchen die von Köhler 1917-21 in Teneriffa durchgeführten wurden, wollen wir diese Merkmale evaluieren: Köhler setzte Affen in einem Käfig und plazierte Bananen außerhalb des Käfigs, wobei die Affen die Bananen ohne Hilfsmittel nicht erreichen konnten. Im folgenden bekamen die Affen einen Stock, der lang genug war, die Bananen zu erreichen. Im zweiten Teil des Experimentes bekamen die Affen zwei kürzere Stöcke, die zwar jeweils zu kurz, zusammengesteckt aber sehr wohl lang genug waren, um die Bananen in den Käfig zu holen. Die Affen versuchten allesamt eine Weile vergeblich, mit einem kurzen Stock die Bananen zu erreichen, entschlossen sich dann aber, sich frustriert und schmollend in eine Käfigecke zurückzuziehen. Nach einer Weile nahmen sie sich die Stöcke, steckten sie zusammen und konnte so die Bananen erreichen. Ein Verhalten, daß man als **kreatives Problemlösen** bezeichnet.

Analysiert man dieses Verhalten, so ergeben sich die Merkmale, die ein problemlösendes Verhalten kennzeichnen, wie folgt:

- **Zielgerichtetheit**
  Das Verhalten ist eindeutig auf ein bestimmtes Ziel gerichtet; hier: “Futter bekommen“
- **Zerlegung in Teilziele**

Das eigentliche Ziel wird in Teilaufgaben unterteilt; Aufnehmen und Zusammenstecken der Stöcke.

- **Auswahl der Operatoren**
  Das Vollziehen einer Handlung, durch die ein Ziel erreicht werden kann, bezeichnet man als **Operator**. Nachdem das Gesamtproblem in Teilprobleme zerlegt wurde, für die Handlungen bekannt sind und durch die sich Teilziele realisieren lassen, (im Beispiel der Affen war es sinnvoll, als Teilziel das Zusammenstecken der Stangen zu erreichen.) kann durch die Auswahl des richtigen Aufeinanderfolgens der Operatoren das Gesamtproblem gelöst werden.

Problemlösen kann als das Absuchen eines **Problemraumes** definiert werden, der aus verschiedenen **Problemzuständen** besteht. Am Anfang befindet sich das Individuum in einem **Anfangszustand** und gelangt über das Erreichen von **intermediären** oder **Zwischen-Zuständen** schließlich den **Zielzustand**. Der Begriff Zustand ist dabei hier sowohl als physikalischer Zustand, als auch als Wissenszustand zu verwenden. Die Operatoren entsprechen der Fähigkeit, den Problemraum von einem Zustand in einen anderen zu überführen. Das generelle Problem des Problemlösens besteht somit in der Aufgabe, zu minderst eine **Sequenz von Zustandsänderungen** zu finden, die vom Anfangs- zum Zielzustand führt. Daraus folgt, daß ein Problemraum durch eine Menge von Zuständen und Operatoren für die Übergänge zwischen diesen Zuständen bestimmt ist und ein Problem durch einen **Suchprozeß** gelöst wird.

### 20.5.2 Verknüpfung kognitiver Anforderungen mit Problemtypen

Der Grad der Schwierigkeit eines Problems, sprich der Grad der nötigen kognitiven Verarbeitungstiefe für einen Problemlösevorgang, wird über die sog. **Problemtypen** definiert. Man unterscheidet dabei die folgenden Problemtypen:

- **Interpolationsprobleme**
  Das Individuum kennt zwar grundsätzlich die Mittel, welche vom Ausgangszustand in den Endzustand führen, aber es muß die richtigen Mittel oder die richtige Kombination der Mittel finden. Der Schwierigkeitsgrad ist abhängig von der Anzahl der Operatoren und der Anzahl der richtig zu kombinierenden Einzelschritte.
- **Syntheseprobleme**
  Bei Syntheseproblemen sind dem Problemlöser Ausgangs- und Zielzustand bekannt, die Maßnahmen zur Erreichung des Zieles dagegen unbekannt. Der Proband wird also mit einer

Situation konfrontiert, bei der sein bisheriges Repertoire an Wissen und Strategien nicht mehr ausreicht, das gegebene Problem zu lösen. Der Schwierigkeitsgrad hängt von der Fähigkeit ab, sich von eingefahrenen Denkweisen zu lösen. Die Lösung besteht darin, über **Versuch und Irrtum** das Ziel zu erreichen (**try and error**).

- **dialektische Probleme**

  Bei dialektischen Problemen ist das Ziel nur vage und ungenau formuliert. Die Lösung wird im **dialektischen Prozeß** gefunden, in dessen Verlauf ein Vorschlag oder Entwurf auf äußere und innere Widersprüche überprüft wird. Dabei werden die Zielvorstellungen allmählich präzisiert und verändert.

Neben diesen objektiven Merkmalen eines Problems, muß der Problembegriff aber auch die **subjektiv bedingten Merkmale des problemlösenden Individuums** berücksichtigen. So ist die in einem Problem enthaltene Barriere erstens immer an das Wissen der problemlösenden Person gebunden und zweitens auch eine Frage des **Anspruchsniveaus** des Problemlösers. Wie leicht einsichtig, kann z.B. ein zu hohes Anspruchsniveau leicht ein an sich leicht zu lösendes Problem zu einem nicht leicht lösbaren dialektischen Problem erheben, während Unwissen über die Handhabbarkeit der zur Verfügung gestellten Hilfsmittel zu einer Einschränkung des **Suchraums** des Probanden führen kann, die eine Problemlösung unmöglich macht. Neben diesen meist noch objektiv erhebbaren subjektiven Eigenschaften des Probanden sind aber noch Eigenschaften wie Selbstvertrauen, Ausdauer, seine Bereitschaft Unklarheiten auszuhalten (Ambiguitätstoleranz), sein innerer Lösungsdruck, die subjektive Bedeutung des Problems, seine Werte und Normen und die Einstellung, ob er eine Problemstellung als Herausforderung oder als Bedrohung erlebt, Kriterien für ein effizientes und erfolgreiches Problemlösungsverhalten.

### 20.5.3 Methoden zur Problemlösung

Mit der Analyse der möglichen Strukturen des Problem- und Suchraumes und der Definition der individuellen Merkmale, die den Problemlösungsvorgang beeinflussen können, kann man zwar deskriptiv die potentiellen Schritte charakterisieren, die der Problemlösende unternehmen kann, doch können noch keine Aussagen bezüglich der Prinzipien, wie die Probanden ihre Teilziele auswählen getroffen werden.

Bei der Analyse des Problemlösungsverhaltens ist auch zu bedenken, das Ziele auch so gesetzt werden können, daß das Erreichen nicht unbedingt ein optimales, sondern ein befriedigendes Ergebnis darstellt. Dies ist wiederum logisch, da ja alle Problemlösungen über intermediäre Zustände evaluiert werden. Man sagt, daß das Problemlösungsverhalten nicht unbedingt dem

**Maximierungs-** bzw. **Optimierungsprinzip** folgt, sondern einer **Satisfying-Strategie**. Dies bedeutet, das Probleme oft nur soweit bearbeitet werden, daß man mit der „Lösung leben kann“.
Man unterscheidet vier verschiedene Methoden beim Problemlösen:

- die **Methode der Unterschiedsreduktion**,
- die **Mittel-Ziel-Methode**,
- die **Rückwärtssuche**,
- die **Methode des Problemlösens durch Analogien**,

Hierbei wird bei der Auswahl der Teilziele zwischen **Algorithmen** und **Heuristiken** unterschieden. (Näheres zu den verschiedenen Methoden beim Problemlösen, siehe folgende Kapitel.)
Unter Algorithmen versteht man dabei Verfahren, die garantiert zum Ziel führen, während man unter Heuristiken Faustregeln versteht, die häufig, aber nicht unbedingt immer zur Lösung des Problems führt.
Die heuristischen Verfahren werden je nach Problem in unterschiedliche Klassen unterteilt. So kann mit Hilfe der **Entdeckungsheurismen** beim kreativen Problemlösen das Operatorinventar erweitern, wobei man folgende Verfahren unterscheidet:

- **Analogienbildung**
  bei ihm werden Problemlösungen aus anderen Bereichen übertragen,
- **Abstraktion**
  bei ihm wird die Problemsituation verallgemeinert und allgemeine Lösungsprinzipien angewendet,
- **Metaphern**
  bei ihm wird ein abstrakter, komplexer Sachverhalt rhetorisch ausformuliert und dieses Analogon bearbeitet,
- **Imagination**
  bei ihm wird die Problemstellung verbildlicht und das ikonisierte Bildnis bearbeitet.

Scheitert der Problemlöser daran, daß seine Definition des Problems und seine darauf aufbauende Situationsanalyse und die in Erwägung gezogenen Operatoren nicht der tatsächlichen Situation entsprechen, so sind sog. **Umstrukturierungsheurismen** erforderlich. Der Problemlösende ändert bei dieser Art von Heuristik die Gewichtungen einzelner Teile des Problems zueinander oder die Funktionen einzelner Elemente der Situation. In jedem Fall ist durch diese Heuristik eine Veränderung der psychologischen Gesamtstruktur der Situation verbunden. Sind die Verknüpfungen und Zuordnungen so festgefügt, daß die Erweiterung oder Umstrukturierung des Suchraums nicht gelingt, spricht man von Fixierungen. Fixierungen basieren meist auf Gewohnheiten oder auf einer zu inflexiblen Betrachtung des Problems.

Allgemein läßt sich sagen, daß Heuristiken als Kombinationen mehrerer Operatoren verstanden werden können, wobei die meist angewendete Kombination die sog. **TOTE-Einheit** (**Test-Operate-Test-Exit-Einheit**) ist.

Neben diesen mehr objektiven Aspekten des Problemlösens, müssen aber auch die subjektiven Aspekte des Problemlösers bei der Analyse eines Problemlösevorgangs mitberücksichtig werden. Man faßt diese Art von Abweichungen vom Idealmodell des Problemlösers unter dem Begriff der **Verzerrungen** zusammen. Die Ursachen dieser Verzerrungen entsprechen somit kognitiven, motivationalen, emotionalen oder sozialen Einflußprozessen und können als Folge von

- Überforderungen der menschlichen Informationsverarbeitungskapazität,
- suboptimalen Suchverhaltens und Satisficing-Verhaltens,
- Verzerrungstendenzen durch das Streben nach kognitiver Konsonanz,
- und durch intrapsychische Konflikte,

verstanden werden. Der erste Punkt entspricht der Tatsache, daß durch die beschränkte Kapazität des Kurzzeitgedächtnisses bzw. durch eine falsche Ikonisierung wesentliche Aspekte des Problems ignoriert, vergessen oder ungenügend verarbeitet werden, während der zweite Punkt die Tatsache berücksichtigt, daß menschliche Entscheidungsverfahren meistens mit der Entwicklung und Auswahl zufriedenstellender Alternativen abgeschlossen sind und sich nur in Ausnahmefällen auf die Auswahl optimaler Alternativen kaprizieren. Sastisficing-Verhalten entspricht also eher dem was wir als kognitive Ökonomie bezeichnet haben. Das Gegenteil zum Satisficing-Verhalten ist das **Optimierungsverhalten**, welches vom Menschen immer dann angestrebt wird, wenn eine gewisse Unsicherheit des Individuums vorliegt oder die Tragweite des Problems besonders gewichtig erscheint. Beide Arten stellen somit die Endpunkte des **Verhaltenskontinuums des Menschen** dar und können folgendermaßen unterteilt werden:

- **Anzahl der berücksichtigten Kriterien**
  Satisfciing-Verhalten bedeutet die Orientierung an einem bzw. wenigen Kriterien. Maximierungsverhalten strebt danach, möglichst viele Werte und Kriterien in den Problemlösungsprozeß zu integrieren.
- **Anzahl der Alternativen**
  Das Satisficing-Verhalten besteht in einer sequenziellen Prüfung der bekannten Alternativen, während das Optimierungsverhalten verlangt, möglichst viele Alternativen zu suchen und sie simultan miteinander zu vergleichen,
- **Ordnen und Prüfen der Alternativen**
  Während das Satisficing-Verhalten sich mit einer einmaligen, relativ oberflächlichen Bearbeitung begnügt, werden bei der Optimierung alle Alternativen und die Auswahl der besten Möglichkeiten geprüft.
- **Typ der Prüfung**

Während beim Satificing-Verhalten ein oder mehrere Grenzwerte als Mindestanforderungen festgelegt werden, müssen beim Optimierungsverhalten mehrere gewichtete additive Modelle evaluiert werden, damit ein Alternativenvergleich durchführbar ist.

Das dritte Konzept, daß Verzerrungen im Problemlösungsprozeß erklären soll, ist die Theorie der **kognitiven Dissonanz**. Man geht bei diese Theorie davon aus, daß bestimmte **Kognitionen** miteinander in Konsonanz, sprich Übereinstimmung, oder Dissonanz, sprich Nichtübereinstimmung, stehen können. Unter Kognitionen versteht man dabei Attitüden, Werte, Meinungen, Überzeugungen, Fakten und prozedurales Wissen also Eigenschaften die in den Skripten und Schemata integriert sind. Bei kognitiver Dissonanz versucht der Mensch durch Hinzufügen neuer konsonanter Kognitionen die angestrebte Lösung für ihn akzeptabler zu gestalten, sprich die Menge der Positiva gegenüber der Menge der Negativa zu erhöhen, oder durch das Eliminieren dissonanter Kognitionen durch Ignorieren, Vergessen oder Verdrängen von Fakten zu einer positiven Bilanz zu kommen.

Die Präferenz für konsonante Information ist besonders stark, wenn

- die anstehende Entscheidung irreversibel ist,
- eine große Menge an Informationen zur Verfügung steht,
- die Beschaffung der Information Kosten verursacht,
- es sich um neue Informationen handelt,
- das Individuum in seiner Entscheidung frei ist
- das Individuum Angst hat,

während die Präferenz für dissonante Information besonders stark ist, wenn

- die kognitive Dissonanz extrem stark ist und die Entscheidung reversibel ist,
- das Individuum mit den konsonanten Informationen vertraut ist,
- das Individuum erwartet, daß es dissonante Informationen widerlegen kann und
- die dissonanten Informationen als sehr nützlich und glaubhaft eingeschätzt werden.

Daraus folgt aber die sehr wichtige Tatsache, daß das Individuum immer dann widersprüchliche Informationen in seinem Entscheidungsprozeß mit aufnehmen wird, wenn es extrem sicher oder extrem unsicher ist.

Viele Problemlösungsvorgänge mit einer bedeutenden Entscheidungskomponente werden verzögert oder gar nicht beendet, da ein intrapsychischer Konflikt besteht, wenn das Individu also zwar motiviert ist, eine Entscheidung zwischen mehreren Alternativen zu treffen, gleichzeitig aber einander widersprechende Tendenzen zur endgültigen Annahme oder Ablehnung einer Lösung vorhanden sind. Vor allem bei irreversiblen Entscheidungen oder bei der Gefahr eines hohen Verlustes kann es einerseits zum Zögern und Schwanken bis hin zur Entscheidungsunfähig-

keit kommen, andererseits zu voreiligen Entschlüssen kommen. In beiden Fällen wird aber ein erhöhtes Maß an emotionalem Streß erzeugt. Man unterscheidet dabei zwei Arten von Konflikttypen:

- den **Approach-Approach-Konflikt**
  bei dem zwei gleichermaßen gute Alternativen Annäherungstendenzen auslösen und
- den **Avoidance-Avoidance-Konflikt**
  bei dem eine Alternative sowohl positive als auch negative Aspekte umfaßt.

Ist eine Entscheidungsfindung zwischen zwei ambivalenten Alternativen getroffen, so bestehen meist Annäherungs- und Vermeidungstendenzen. Liegen ambivalente und schlechte Alternativen vor, so wird das Individuum die schlechte Alternative ablehnen, ohne sich aber für die ambivalente Alternative entscheiden zu können.

Oft unterteilt man die Konflikte aber gemäß ihrer Qualität und der Informiertheit des Individuums und bezieht mögliche Konfliktlösungsstrategien mit ein, woraus sich die folgende Klassifikation ergibt:

- **Nichtakzeptierbarkeit**
  Das Individuum kennt die Alternativen und deren Konsequenzen, aber keine Alternative genügt seinen Anforderungen
- **Nichtvergleichbarkeit**
  Das Individuum verfügt über die Alternativen, kann die beste Alternative aber nicht identifizieren
- **Unsicherheit**
  das Individuum weiß nicht, mit welcher Wahrscheinlichkeit die möglichen Konsequenzen der bekannten Alternativen eintreten werden (Entscheidung unter Unsicherheit).

Nachdem die möglichen Verzerrungen, also die subjektiven Attribute bei der Problemlösung erörtert wurden, sollen als nächstes die verschiedenen Problemlösungsmethoden, also die am Anfang dieses Kapitels aufgezählten objektiv basierten Problemlösungsstrategien erläutert werden.

#### *20.5.3.1* Methode der Unterschiedsreduktion

Diese Methode wird häufig bei wenig oder auch unbekannten Problemen angewandt. Die Vorgehensweise besteht darin, die Differenz zwischen dem vorhandenen Zustand und dem Zielzu-

stand zu vermindern. Häufig lassen sich die Menschen dabei von Ähnlichkeiten leiten, daß heißt, es wird der Operator gewählt, der den momentanen Problemzustand in einen anderen Zustand überführt, der dem Zielzustand näher ist als der bisherige. Dies muß nicht zwangsläufig zu einer Lösung führen. Es gibt auch irreführende Ähnlichkeiten. In diesen Fällen kommt man dann nur zu einer Lösung, wenn man gegen das Ähnlichkeitsprinzip verstößt.

Bei der Lösung dieses Problems kommt man recht schnell an einen Punkt, wo zwei Personen auf die falsche Seite gebracht werden müssen. Ohne diesen Schritt kann man die Aufgabe nicht lösen. Man hat festgestellt, daß vielen Versuchspersonen dieser Schritt in der Regel besonders schwer fällt und viele an diesem Punkt noch einmal von vorne anfangen wollen.

#### *20.5.3.2 Die Mittel-Ziel-Methode*

Die Mittel-Ziel-Methode setzt sich aus der wiederholten Anwendung der Schrittfolge: „Feststellung von Unterschieden“, „Operatorauswahl“, „Operatoranwendung“ und „Überprüfung“ zusammen. Hierdurch wird der Ausgangszustand allmählich mit dem Zielzustand in Deckung gebracht und damit das Problem gelöst (Siehe Abbildung 20-14).

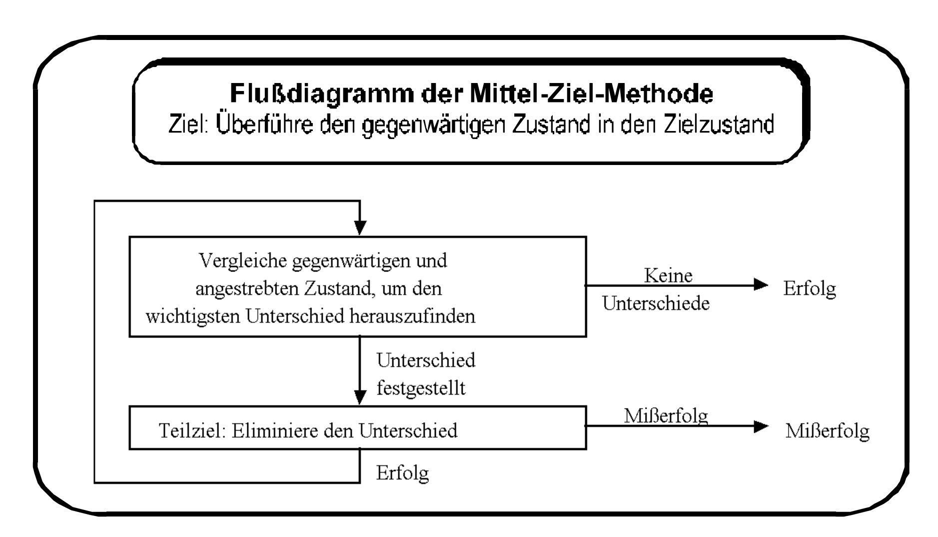



**Abbildung 20-14**

In Abbildung 15 ist das leicht modifizierte Flußdiagramm der Mittel-Ziel-Methode für den Fall, daß z.B. ein Fehlerzustand unter zur Hilfenahme eines geeigneten Operators eliminiert werden soll, aufgezeigt.

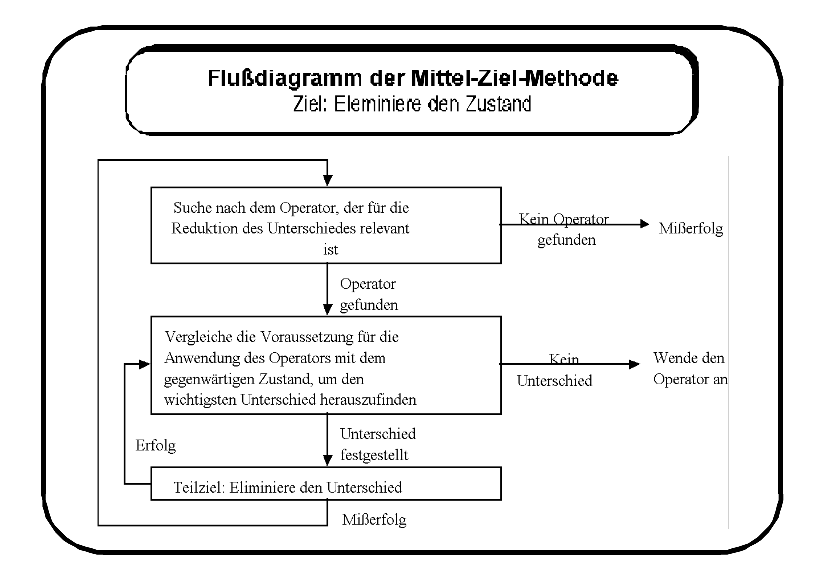



**Abbildung 20-15**

Da die Mittel-Ziel-Analyse bei der alltäglichen Problemlösung eine sehr elementare Rolle spielt, soll als illustrierendes Beispiel das „Türme von Hanoi"-Problem dargestellt werden.

*Bei diesem Problembeispiel sind am Anfang drei Scheiben unterschiedlicher Größe auf einen Stift gelegt. Diese Scheiben sollen nun von Stift 1 auf Stift 3 in der gleichen Reihenfolge gesteckt werden, wobei Stift 2 aber nur zur Hilfe benutzt werden darf. Die Scheiben dürfen mit folgenden Einschränkungen beliebig bewegt werden:*

- *Es darf nur jeweils eine Scheibe bewegt werden.*
- *Es darf nur die jeweils oberste Scheibe bewegt werden.*
- *Es darf keine größere auf eine kleinere Scheibe gelegt werden.*

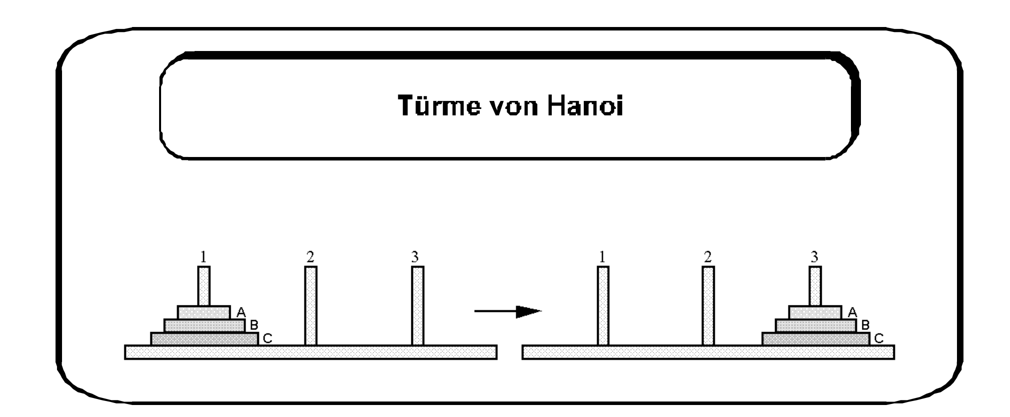



**Abbildung 20-16**

Man kann erkennen, daß bei diesem Problem bestimmte Teilziele zur Lösung anderer Teilziele aufgestellt werden müssen. Die Hauptschwierigkeit liegt darin, die richtige Reihenfolge der Ziele und Teilziele zu behalten.

#### 20.5.3.3 Rückwärtssuche

Bei dieser Methode wird vom Ziel ausgegangen und von dort aus der Lösungsweg gesucht. Der entscheidende Schritt ist, den gefundenen Lösungsweg in eine Reihe von Teilzielen zu zerlegen. Diese implizieren dann die Lösung des Gesamtproblems. Im Anschluß wird jedes Teilziel für sich gelöst.

#### 20.5.3.4 Problemlösen durch Analogien

Hier handelt es sich um eine Methode, bei der ein Problem mit der Lösungsstruktur eines anderen Problems gelöst wird. Bei der Problemstellung gleichen Typs werden Teilziele aufgestellt, welche die Schritte aus dem bekannten Lösungsschema in die Schritte für die anstehende Aufgabe umwandeln.

> *Als Beispiel soll folgendes Problem dienen: Ein Arzt hat die Aufgabe, einen mit konventionellen Methoden nicht entfernbaren Tumor zu behandeln. Als einzige Möglichkeit bleibt, den Tumor mit Strahlen zu zerstören. Voraussetzung ist eine genügend hohe Intensität der Strahlen. Sind die Strahlen stark genug, den Tumor zu zerstören, so zerstören sie jedoch auch das umliegende Gewebe. Schwächt man die Strahlendosis so weit ab, daß das umliegende Gewebe nicht zu stark geschädigt wird, so geht auch die Wirkung auf den Tumor verloren. Wie kann man nun aber den Tumor zerstören, ohne das gesunde Gewebe allzu stark zu schädigen ?*

Nur wenige Versuchspersonen können dieses Problem auf Anhieb lösen. Man kann aber auch eine Lösungsanalogie vorgeben. Hier könnte sie lauten:

> *Ein kleines Land wurde von einem Diktator regiert, dessen Festung in der Mitte des Landes lag. Um die Festung verteilt lagen Bauernhöfe und Dörfer. Die Festung war auf vielen Straßen aus allen Richtungen zu erreichen. Nun wollte ein aufständischer General die Festung einnehmen und den Diktator stürzen. Er wußte, daß seine Armee stark genug war, die Festung im Sturm zu nehmen. Das Problem war nur, daß der Diktator vorausschauend alle Zufahrtsstraßen mit nicht zu entschärfenden Minen versehen hatte. Bei einer Detonation würde aber nicht nur die Straße, sondern auch die umliegenden Häuser zerstört werden. Eine ganze Armee konnte also nicht mehr darüber laufen, wohl aber eine kleine Gruppe, da der Diktator ja seine eigenen Truppen und Arbeiter in und aus der Festung bringen mußte. Wie konnte man also die Festung erstürmen ? Der General entwarf einen Plan: Er teilte seine Armee in kleine Gruppen, die ungehindert auf jeweils einer anderen Straße die Festung erreichen konnten. Auf sein Signal gin-*

*gen die Gruppen los, erreichten gleichzeitig die Festung und konnten diese einnehmen. Der Diktator wurde gestürzt.*

Mit Hilfe dieser Geschichte waren fast alle Versuchspersonen in der Lage, das Beispiel mit dem Tumor zu lösen. Der Trick besteht darin, aus vielen verschiedenen Richtungen einen Strahl mit geringer Intensität auf den Tumor zu richten. Durch die geringe Intensität bleibt das gesunde Gewebe unbeschädigt. Im Tumor, wo sich die Strahlen treffen, verstärken sie sich gegenseitig und können so das kranke Gewebe vernichten.

### 20.5.4 Repräsentation

Wir hatten gesehen, daß die richtige Auswahl der Operatoren für einen Problemlösevorgang als der zentrale mentale Akt angesehen werden kann, der das Individuum in die Lage versetzt, den von ihm gewählten Zielzustand zu erreichen. Ein bisher nicht beachteter Aspekt bei der Operatorevaluation ist dabei die **richtige Repräsentation des Problems**, da speziell der Mensch an Hand von bestimmten Repräsentationsformen Lösungsstrategien evaluiert bzw. umgekehrt durch eine ungünstige Repräsentation oft zu falschen Schlüssen bzgl. der gegebenen Problemstellung verleitet wird.

Bei der optischen Repräsentation eines Problems unterscheidet man die folgenden Phänomene:

- **Funktionale Gebundenheit**
  Objekte werden meist nur so funktional eingestuft, wie sie das Individuum aus ihrer gewohnten Umgebung kennt, d.h. sie als modifiziertes Werkzeug zu gebrauchen, fällt oft schwer (Beispiel: eine Zange auch als Hammer benutzen),
- **Gebundenheit auf Grund von Nachbarschaftsbeziehungen**
  Bei der Auswahl der Operatoren werden oft nur solche Werkzeuge benutzt, die nahe genug beieinander liegen,

### 20.5.5 Einstellungs- und Inkubationseffekte

Die Auswahl der richtigen Operatoren wird aber nicht nur durch eine falsche Problemrepräsentation unterbunden, sondern kann auch durch die sog. **Einstellungseffekte** (**Set-Effekte**) behindert werden. Sie bezeichnen die Tendenz eines Problemlösers, aufgrund früherer Erfahrungen dazu verleitet zu werden, bestimmten Operatoren den Vorzug zu geben. Die Einstellungseffekte entsprechen dabei einer **Automatisierung der Denkvorgänge**. Bewerte Lösungsstrategien werden gemäß dem Prinzip der kognitiven Ökologie immer wieder verwendet, auch wenn sich das eigentliche Problem gravierend verändert hat. Im allgemeinen treten diese Ef-

fekte immer dann auf, wenn einige prozedurale oder deklarative Wissensstrukturen auf Kosten anderer besser zugänglich werden, also quasi im Vordergrund stehen. Verwandt mit diesen Einstellungseffekten sind die sog. **Inkubationseffekte**. Meist durch die Einstellungseffekte bedingt, sehen die Problemlöser die richtigen Operatoren nicht und kommen erst nach längerem Überlegen auf die eigentliche Lösung, wobei diese längere Bearbeitungszeit auf einen bewußtseinsmäßig hintergründigen Problemlösungsvorgang durch Ausprobieren nichtadäquater Operatoren zurückzuführen ist. Erst wenn diese Konzepte langsam in den Hintergrund treten, wird „der Blick auf das eigentliche Problem frei“ und richtige Operatoren können evaluiert werden.

## 20.6 Die Entwicklung von Sachkenntnis

Wir hatten im letzten Kapitel schon kurz über die **Automatisierung der Denkvorgänge** gesprochen, also über jene Fähigkeit der zentralen Nervensysteme, daß bestimmte Handlungen oder Gedankengänge, deren Ausführung zuerst als problembehaftet erscheinen, durch Üben ihre Problematik verlieren und schließlich unter Aufwendung eines Minimums an Aufmerksamkeit und kognitiver Energie, quasi von selbst, vollzogen werden können. Die durch eine vertiefte Auseinandersetzung mehr oder minder automatisierten Wissensbestände nennt man **Sachkenntnis**, **Expertenwissen** oder **Fähigkeiten**.

### 20.6.1 Automatisiertheit

Bei zwei getrennten Aufgaben muß die begrenzte Kapazität der Aufmerksamkeit auf die konkurrierenden Prozesse verteilt werden. Wieviel Aufmerksamkeit ein Prozeß verlangt, hängt vom Grad seiner Geübtheit ab. Je besser ein Prozeß geübt ist, desto weniger Aufmerksamkeit wird benötigt; man hat sogar vermutet, daß hochgeübte Prozesse überhaupt keine Aufmerksamkeit erfordern. Solche hochgeübte Prozesse, die kaum Aufmerksamkeit beanspruchen, werden als automatisch bezeichnet.

Es wäre richtiger, unter **Automatisiertheit** nicht eine präzise definierbare Kategorie zu verstehen, sondern einen kontinuierlich veränderlichen Gradmesser, aber es hat sich als nützlich erwiesen, kognitive Prozesse in zwei Klassen einzuteilen: automatische Prozesse, die keine Aufmerksamkeit erfordern, und **kontrollierte Prozesse**, bei denen Aufmerksamkeit nötig ist.

Automatische Prozesse laufen ohne bewußte Kontrolle ab. Viele Aspekte des Autofahrens und des Sprachverstehens stellen sich als automatisch dar.
Kontrollierte Prozesse scheinen Kontrolle durch das Bewußtsein zu erfordern. Viele höhere Prozesse, etwa das Kopfrechnen, sind kontrollierte Prozesse.

### 20.6.2 Die Phasen des Fertigkeitserwerbs

Wie kognitionswissenschaftliche Untersuchungen zum Erwerb von Fertigkeiten zeigten, ist die Automatisierung kein stetiger Prozeß, sondern kann in drei Phasen unterteilt werden:

- die **kognitive Phase**
  die Fertigkeiten werden deklarativ kodiert, d.h. Fakten, die für Fertigkeiten von Bedeutung sind, werden im Gedächtnis abgespeichert, erste Teilziele werden durch die Wahl adäquater Operatoren produziert,
- die **assoziative Phase**
  nach und nach werden die Fehler im anfänglichen Verständnis der zu automatisierenden Fähigkeit entdeckt und eliminiert, neue Operatoren werden gewählt; im Weiteren werden die Verbindungen zwischen den einzelnen (Handlungs-)Elementen verstärkt, was in der Evaluation einer erfolgreichen Prozedur zur Ausführung der Fertigkeit mündet. Die deklaritiven Informationen werden in eine prozedurale Form umgewandelt, es entstehen bereichsspezifische Prozeduren,
- die **autonome Phase**
  die verbale Vermittlung beim Ausführen der Tätigkeit tritt immer mehr in den Hintergrund. Die Tätigkeit kann immer schneller ausgeführt werden. Schließlich kann die Fähigkeit, Wissen über die Fertigkeit zu verbalisieren, gänzlich verloren gehen.

Die autonome Phase ist dabei nicht beschränkt, sondern die Fertigkeiten nehmen in ihrem Verlauf ständig zu, wobei die beiden Merkmale, die durch dieses Üben erworben werden die Schnelligkeit und Genauigkeit des Ausübens sind. Die Steigerung adäquater Prozeduren nennt man **Einstimmen** (**Tuning**).

### 20.6.3 Das Üben von Fertigkeiten

Protokolliert man, wie sich die Fähigkeiten eines Individuums mit der Zeit durch das Üben der Prozeduren ändert, so findet man, daß die benötigte Zeit eine Fähigkeit auszuführen im Laufe des Übens abnimmt, wobei diese Abnahme dem selben Potenzgesetz genügt, wie der Beschleunigung, bestimmte geübte Gedächtnisinhalte abzurufen, d.h. es gilt:

$$\log Z = A - b \log Ü$$

bzw.

$$Z = a\, Ü^{-b}$$

mit $a = 10^A$, wobei Z der Zeit, Ü der Anzahl der vollzogenen Übungen und A einer individuellen Konstanten entspricht, in der die Zeit der deklarativen Kodierung, der Evaluation adäquater Operatoren und die Evaluation der ersten erfolgreich durchgeführten Prozeduren eingeht. Die Größe b beschreibt den subjektiven Schwierigkeitsgrad oder die Leistungsfähigkeit der Muskulatur, d.h. sie ist vom Problem, der Fähigkeitsstruktur abhängig.

Die Effizienz des Übens ist, genauso wie die Effizienz das Lernen, von den Umständen des Übens abhängig. Der wesentliche Faktor des Übens scheint dabei die zeitliche Aufteilung zu sein. So zeigen Untersuchungen, daß Üben über einen zu langen Zeitraum (ca. 4 Stunden) zu keiner wesentlichen Verbesserung der Fähigkeiten führt, zeitlich versetztes Üben hingegen das Üben fördert. Auch sollte man beim parallelen Üben von unterschiedlichen Prozeduren darauf achten, daß keine Interferenzeffekte, ähnlich denen, die wir bei Reproduzieren von Gedächtnisinhalten kennengelernt haben auftreten können. Dieser **negative Transfer** wird dabei immer dann auftreten, wenn neu erworbene Fertigkeit mit einer gut eingeprägten Fertigkeit indirekt im Konflikt steht. Häufiger als dieser negative Transfer wird aber beim Üben der **positive Transfer** auftreten, bei dem ähnlich wie beim Chunking, gut eingeübte Teilprozeduren zum Erwerb der Sachkenntnis in die Prozeduren einbezogen werden. Zwar können so höchst individuelle Handlungsabläufe (prozedurales Wissen) erzeugt werden, doch ist das Gesamtergebnis immer positiv.

Eine andere Erkenntnis aus den Forschungen zeigt, daß Versuchspersonen Fertigkeiten vielfach schneller lernen, wenn man die Fertigkeit in adäquate Teilfertigkeiten auflöst, diese übt und von Experten einen unmittelbaren Feedback bekommt.

**Wir merken uns:**

Durch Üben erhält man Sachkenntnis, wobei die Entwicklung von Sachkenntnis darauf beruht, daß man Probleme nicht mehr primär auf der Grundlage von serieller Verarbeitung und Deduktion löst, sondern verstärkt dazu übergeht, im Gedächtnis gespeicherte Lösungsmuster abzurufen. Die Evaluation von Sachkenntnis vollzieht sich in drei Phasen, wobei in der ersten Phase die Fertigkeit deklarativ formuliert, in der zweiten Phase die Fertigkeit in prozedurales Wissen überführt und in der dritten Phase automatisiert wird. Die Automatisationsphase ist dabei unbeschränkt, ihre Prolongation entspricht dem Üben und führt zu einer Geschwindigkeits- und Genauigkeitssteigerung, wobei der Grad dieser Steigerung dem selben Potenzgesetz wie bei der Verbesserung der Abrufbarkeit von Gedächtnisinhalten folgt.

### 20.6.4 Komplexe Problemlösungs-Situationen

Die bisher behandelten Problemlösungsstrategien wiesen sich dadurch aus, daß ein einzelnes Individuum ohne besonderen Zeitdruck ein mehr oder minder überschaubares Problem lösen sollte. Die subjektive und objektive Problemlösungs-Situation ändert sich jedoch, wenn reale Problemlöse-Situationen - vor allem solche in Organisationen - sich durch einen hohen Komplexitätsgrad auszeichnen. Die Komplexität eines Problems kann dabei meist unter drei verschiedenen Aspekten betrachtet werden:

- **Das Problem ist sehr komplex**
  d.h. bei den dem Problem zugrunde liegenden Strukturen und Prozessen handelt es sich um „vernetzte Systeme“ mit einer nur schwer durchschaubaren Entwicklungsdynamik. Durch die Existenz von Rückkopplungen oder einer nicht ad hoc offensichtlichen Dynamik von Entwicklungen wird die menschliche Denkfähigkeit auf Grund von mangelndem Abstraktionsvermögen oftmals überfordert.
- **es müssen Krisenentscheidungen getroffen werden**
  d.h. die Lösungen von Problemen müssen häufig unter Zeitdruck und ohne Vorbereitung gefunden werden, was zu mangelhafter Informationsaufnahme und -verarbeitung, zu Rigidität bei den Problemlösungen, zu mangelnder Entscheidungsbereitschaft und -realisierung und damit eventuell zu schlechten Ergebnissen führt.
- **Problemlöse-Gruppen entwickeln oft eine eigene Dynamik**
  d.h. der mögliche Vorteil der Kombination unterschiedlichen Expertenwissens in einer Gruppe kann ins negative umschlagen, wenn sich Normen herausbilden, die sich mehr auf

den Zusammenhalt und das Gruppenverständnis beziehen als auf die sachgerechte Lösung anstehender Probleme. Im Extremfall wird in solchen Gruppen die Außenwelt nicht mehr realistisch wahrgenommen, die Menge der Lösungsalternativen vorzeitig eingeschränkt und herkömmliche Moralvorstellungen außer Acht gelassen, wodurch Fehlentscheidungen unumgänglich werden.

Die richtige Evaluierung der Operatoren bei komplexen Systemen kann dadurch gefördert werden, daß man das Problem in **abstrakten Analogien** zu formulieren versucht, also eine semantische Gedächtnisbearbeitung einer episodischen Gedächtnisverarbeitung mit Hilfe des episodischen Gedächtnisses vorzieht. Allgemein lassen sich komplexe Probleme besser lösen, wenn man:

- in Netzen denkt (statt in Ketten)
- in Prozessen denkt (statt in statischen Zuständen)
- exponentielle oder kompliziertere Entwicklungen berücksichtigt (statt nur lineare Entwicklungen zu berücksichtigen)
- Analogieschlüsse aufgrund abstrakter Schemata zuläßt (statt aufgrund konkreter Einzelerfahrungen zu urteilen)
- mehr problemrelevante Informationen nachfragt
- seltener die Schwerpunkte von Maßnahmen ändert
- mehr Variablen des Systems berücksichtigt

zudem muß, wie oben schon gezeigt, berücksichtigt werden, daß weniger die Fähigkeit, komplexe Probleme zu lösen für den Problemlösungsvorgang von Bedeutung sind, als vielmehr die Motivation der Problemlöser, sowie deren subjektive (Selbst-)Sicherheit und emotionale Faktoren. Die letztgenannten Faktoren spielen auch bei der Bewältigung von **Krisensituationen** eine entscheidende Rolle, da gerade hier die Konzentration auf die relevanten Aspekte und der Gebrauch des **Meta-Denkens** („Was habe ich/wir bisher unternommen ? Was war richtig/falsch an meinen/unseren Überlegungen“) von entscheidender Bedeutung sind. Gelingt es nicht die Gruppe oder den einzelnen auf Krisensituationen vorzubereiten, so können eine Reihe von Fehlentwicklungen für den Problemlösungsprozeß auftreten, die man unter dem Begriff des **Syndroms**, sprich dem Bündel von Symptomen zusammenfaßt. Diese Syndrome erzeugen

Stresssituationen, die zu einem kollektiven, psychischen Ausnahmezustand führen, der durch folgende Symptome gekennzeichnet ist:

- Einengung der kognitiven Verarbeitungsprozesse
- Informationsverzerrungen
- Gruppen-Pathologie
- Rigidität bei der Problemlösung
- Fehlen der Entscheidungsbereitschaft
- Probleme bei der Entscheidungsrealisierung

Reiht man die positiven und negativen Symptome des Gruppendenkens auf, so kommt man zu folgender Aufzählung:

- **Illusion der Unverwundbarkeit**
  Die häufigen Fehlentscheidungen tauchen in Gruppen hauptsächlich deshalb auf, weil Gruppenmitglieder sehr oft die Illusion der Unverwundbarkeit entwickeln, die einen übermäßigen Optimismus und äußerst riskante Entscheidungen begünstigt.
- **Kollektive Rationalisierungen**
  Sie bewirken ein Wunschdenken, daß nicht sein kann, was nicht sein darf, was zum Ignorieren von Warnungen und negativen Rückmeldungen führt.
- **Moralische Voreingenommenheit**
  sie bewirkt, daß die Gruppe davon überzeugt ist, daß ihre Absichten ethisch rechtmäßig sind und das der Zweck die Mittel heiligt, was dazu führt, daß die Konsequenzen der eigenen Entscheidungen nicht mehr auf moralische Kriterien hin überprüft werden.

- **Stereotype (vorurteilsbehaftete) Wahrnehmung**
  sie führt dazu, daß potentielle Gegner der Gruppe leicht als unmoralisch, inkompetent und als zu schwach für effektive Gegenmaßnahmen eingestuft werden.
- **Gruppendruck auf einzelne Mitglieder**
  sie führt dazu, daß an einem geplanten Entscheidungskurs gezielte Fragen oft nicht gestellt werden dürfen oder absehbare Katastrophen als Unterminierung des Gruppenentscheids abgetan werden.
- **Selbst-Zensur**

sie führt dazu, daß einzelne Gruppenmitglieder sich selbst zensieren.

- **Wahrheits-Illusion der Einmütigkeit**
  sie führt dazu, daß das Schweigen von Teilnehmern als implizite Zustimmung gedeutet wird und die Gruppe scheinbar als Ganzes auftritt.
- **Herausbildung von selbsternannten Meinungswächtern**
  sie führt dazu, daß sie einige Gruppenmitglieder sehr schnell in eine exponierte Stellung erheben und Abweichler persönlich attackieren.

Diese immer präsenten Negativa einer Gruppenarbeit können verhindert werden, indem man folgende Maßnahmen einführt:

- Der Leiter einer Entscheidungsgruppe sollte die Rolle eines kritischen Beurteilers nacheinander auf alle Mitglieder der Gruppe verteilen. Das setzt natürlich voraus, daß er selbst Kritik vertragen kann.
- Die Vorgesetzten einer Organisationshierachie sollten den Diskussionsverlauf geduldig verfolgen und ihre Präferenzen und Erwartungen nicht gleich am Anfang der Diskussion äußern.
- In einer Organisation sollten routinemäßig mehrere, unabhängige Entscheidungsgruppen auf das gleiche Problem angesetzt werden, wobei Beratungen von unterschiedlichen Vorgesetzten geleitet werden sollen.

Eine andere Form der Gruppenentscheidung ist durch die Erhebung von Fragebögen gegeben. Man unterscheidet dabei zwei Formen der Gruppenmeinungserhebung, die **Delphi-Methode** und die **Nominal Group Technique** (**NGT**). Während bei der Delphi-Methode die Meinung der Gruppenmitglieder per Fragebogen erhoben wird, der Befragungsvorgang also durch aus anonym vollzogen werden kann, sitzen bei der Nominal Group Technique die Gruppenmitglieder zuerst schweigend in einem Raum und bringen ihre Vorstellungen zur Problemlösung zu Papier. Diese Vorstellungen werden anschließend verlesen und diskutiert.

### *20.7 Kreativität*

Eng verbunden mit der Vollziehung eines Problemlöseaktes ist die Ideenfindung bzw. die Suche nach alternativen Lösungen, ein Vorgang den man als **Kreativität** bezeichnet. Kreativität kann dabei als Produkt von **kreativem Handeln** und **Denken** definiert werden, wobei als Kri-

terien der Kreativität in der Regel die **Neuheit** und **Nützlichkeit** der evaluierten Ideen gesehen werden müssen. Beides sind dabei keine objektiven Größen, sondern sind Personen, situations- und zeitspezifisch. Eine objektive Bewertung über den Kreativtätsgrad einer Idee gibt es nicht, weshalb man heute meist die Kreativität eines Produktes über den explizit subjektiven Zugang der Reaktion von Bewertern wählt. Sind dieser gleichermaßen von einer Idee überrascht, befriedigt, stimuliert und äußern ihre Anmut, so geht man davon aus das eine kreative Idee evaluiert wurde.

Da die Persönlichkeit ein wichtiger Faktor für die Kreativität ist, sollen im Folgenden einige Persönlichkeitsmerkmale aufgeführt werden, wodurch sich kreative Persönlichkeiten von nicht-kreativen Persönlichkeiten unterscheiden:

- **Begabung**

Begabung für eine spezielle Fachrichtung zeichnet sich dadurch aus, daß das Individuum bestimmte Problemlösungsbereiche besonders effizient und innovativ bearbeiten kann. Im Falle einer musischen Begabung würde das voraussetzen, daß die folgenden 4 Teilkomponenten besonders stark ausgeprägt sind:

  - Wahrnehmung von Tonunterschieden
  - Aufassungsgabe für ganzeinheitliche Musikmerkmale (Rhythmik, Melodie etc.)
  - Übertragung der Klangbilder auf Stimme oder Instrument
  - Verknüpfung von Tongebilde und einer nicht akustischen Idee

- **Intellektuelle Fähigkeiten**

  Die intellektuellen Fähigkeiten eines Individuums lassen sich durch die drei Dimensionen:

  - Denkprodukte
  - Denkinhalte
  - Denkoperationen

  definieren, die zusammen die Kreierung eines Strukturmodells des Intellekts ermöglichen. Während die erste Operation im Erkennen und Auffassen (Strukturieren) von Informationen besteht, betrifft die zweite Operation die Fähigkeit Informationen abzuspeichern, die dritte schließlich die Informationen zu bearbeiten. Den Informationsabruf als Teil der Denkoperation unterteilt man in

    - **divergente Produktion/divergentes Denken**

sie entspricht einer breit angelegten Informationssuche. Charakteristisch für sie ist die Fähigkeit möglichst viele Ideen oder Assoziationen zu produzieren (**Flüssigkeit**), ungewöhnliche Ideen zu haben (**Originalität**), sich in ein Problem vertiefen zu können (**Elaboration**), sowie ein Problem von verschiedenen Seiten her zu betrachten (**Flexibilität**) und sich von alten Bedeutungen lösen zu können, d.h. Aufgaben in neuer Weise zu interpretieren (**Redefinition**).

- **konvergente Produktion/konvergentes Denken**
  sie entspricht der Suche nach einer besonderen Lösung

Allgemein zeigen Studien, daß kreatives Denken die Fähigkeit zu beiden Denkensarten beinhaltet, oft gepaart mit dem Willen, hart und viel zu arbeiten, einer Tendenz zur Autonomie und Unabhängigkeit, hohem Selbstvertrauen, Interessenvielfalt sowie einer Präferenz und Toleranz für Komplexitäten und Ambiguitäten. Unerwartet hingegen sind statistische Untersuchungen nach denen kreative Künstler sich meistens durch Lebenslust und amorale Bohemies auszeichnen, während Wissenschaftler mehr kalte, selbstbewußte Bewohner von Elfenbeintürmen repräsentieren.

**Wir merken uns**

Kreatives Denken zeichnet sich durch die Neuheit und Nützlichkeit, der durch ein Individuum evaluierten Produkte aus. Kreative Leistungen entstehen dabei nicht auf dem Weg eines besonders „kreativen“ Denkprozesses, sondern durch die zweckgerichtete Organisation allgemeiner, kognitiver Prozesse für die Erzielung ungewöhnlicher, aber dennoch brauchbarer Problemlösungen.

## 20.8 Künstliche Kognitive Systeme

Wir hatten gesehen, daß die Kognitive Psychologie und die Kognitive Neurowissenschaft zur Erforschung von natürlichen Systemen dienen und werden deren Erkenntnisse jetzt dazu gebrauchen, um mittels der Disziplin der **Kognitiven Informatik** die Entwicklung von intelligenten künstlichen Systemen möglichst nah am natürlichen Vorbild, dem kognitiven Fundus der Natur, anzulehnen.

Die Evaluierung der Grundlagen von künstlichen kognitiven System begann im zweiten Weltkrieg, als man anfing zu untersuchen, wie man Soldaten im Umgang mit technisch komplizierten

Ausrüstungsgegenständen und zur Vermeidung von Problemen wie **Aufmerksamkeitsschwächen** und -störungen besser trainieren sollte und wie man technische Systeme auslegen muß, damit sie den Menschen bei der Bedienhandlung unterstützen. Grundlage der Forschungen war die Idee, menschliche Leistungsausübung mit neueren aus der **Informationstheorie** stammenden Forschungsresultaten zusammenzubringen, um die Informationsverarbeitung des Menschen besser analysieren zu können und die **Mensch-Maschine-Interaktion** „menschengerechter" gestalten zu können. Mit der Entwicklung dieses Informationsverarbeitungsansatzes eng verbunden waren und sind Fortschritte in der Computerwissenschaft, insbesondere der **Künstlichen Intelligenz** (**KI**), deren Ziel es ist, Computer zu intelligentem Verhalten zu verhelfen. Im Laufe der Entwicklung wurde eine Fülle von Konzepten und Begriffen aus der Computerwissenschaft übernommen und in die psychologischen Theorien der künstlichen und natürlichen Kognitionswissenschaften integriert. Durch die Beobachtung des Verhaltens von Maschinen, wurde so versucht Rückschlüsse auf die menschliche Intelligenz zu ziehen (Computermetapher).

Künstliche kognitive Systeme müssen dabei unter verschiedenen Ansätzen untersucht werden, von denen hier die folgenden näher untersucht werden sollen:

- die **Tektonik kognitiver Systeme**
  sie beschreibt den Aufbau, bzw. den systemischen Zustand eines kognitiven Systems zu einem bestimmten Zeitpunkt,
- die **Dynamik kognitiver Systeme**
  sie beschäftigt sich mit der Veränderung von Zuständen und den Auswirkungen dieser Veränderungen auf das Systemverhalten,
- die **Genetik kognitiver Systeme**
  Sie kann als die zur Bildung eines neuen Systems führende Dynamik verstanden werden.

Im Folgenden sollen die eben genannten Begriffe näher erläutert werden, indem aus dem natürlichen Vorbild (den natürlichen kognitiven Systemen) heraus die Definitionen abgeleitet und auf die künstlichen kognitiven Systeme übertragen werden.

### 20.8.1 Die Tektonik kognitiver Systeme

Die **Tektonik kognitiver Systeme** beschreibt deren Aufbau in Abstraktion und deren Veränderung mit der Zeit. Dies beinhaltet die Entstehung (Genese) sowie die Wechselwirkung (Dynamik) mit anderen Systemen, welche jedoch erst in den nachfolgenden Kapiteln behandelt

werden. Sie entspricht somit einem neuro-mentalen Modell, daß die Realisierung künstlicher kognitiver Systeme leiten soll.

Grundlage dieser tektonischen Modelle kann dabei natürlich nur gemäß dem Chunking-Prinzip sein, auf bekannte Fakten bezüglich des Agierens der natürlichen kognitiven Systeme zurückzugreifen und zu versuchen mit deren Hilfe den neuen Gegenstand „künstliches kognitives System“ zu erfassen. Die Verwendung dieser Metaphern birgt jedoch das Risiko, daß kognitive Systeme aus unserer Unwissenheit heraus nur zum Teil charakterisiert werden können und daher teilweise irreführende Konnotationen mit sich bringen. (Aus diesem Grund muß immer sorgfältig abgewogen werden, ob eine gewählte Metapher erfolgversprechend ist, da sich die im wissenschaftlichen Bereich notwendige Präzision als fortschrittshemmend erweisen könnte.)

Die Tektonik der Kognition ist, wie leicht einsichtig, daher ein zentraler Gegenstand der gesamten Kognitionswissenschaft. Die beiden wichtigsten Metaphern zur Klärung des Typs kognitiver Systeme sind:

- die **Computermetapher** und
- die **Gehirnmetapher**.

#### *20.8.1.1 Die Computermetapher*

Die **Computermetapher** erhebt das formale Modell eines Computers mit seiner enormen Kapazität der Informationsverarbeitung zum Leitbild bzgl. der Analyse menschlicher Kognition. Der klassische Computer ist mit einer sogenannten **Von-Neumann-Architektur** ausgestattet. Diese Architektur ist dadurch gekennzeichnet, daß eine **zentrale Steuereinheit** (**Central-Processing- Unit = CPU**) bestimmt, in welcher Reihenfolge die einzelnen Berechnungsschritte durchgeführt werden. Die Daten und Regeln für die Berechnung werden in einem oder mehreren Speichern aufbewahrt. Kennzeichnend für die Von-Neumann-Architektur ist, daß der Computer, ähnlich wie der Mensch beim Rechnen mit natürlichen Zahlen, die einzelnen Rechenschritte sequentiell nacheinander durchführen muß.

Computer funktionieren zwar wie natürliche kognitive Systeme als offene Systeme, daß heißt in Interaktion mit ihrer Umwelt, doch ist jedoch der Dialog zwischen Mensch und Maschine gewöhnlich auf genau definierte Symbole, die mittels einer Tastatur eingegeben werden, beschränkt. Auch bei solchen Systemen, die über Sensoren nichtsymbolische Informationen aufnehmen können, werden diese in die selbe interne Symbolik umgewandelt, die anders als bei

den natürlichen kognitiven Systemen aber keiner bedeutungsevaluierten Repräsentation des sensoriellen Geschehens entspricht, sondern einem mehr oder minder willkürlich festgelegten Zeichensatz. Die Symbole selbst werden nach bestimmten vorgegebenen Regeln in einem zentralen Prozessor verrechnet, um eine durch einen Algorithmus evaluierte Antwort des Systems auf den eingegebenen Zeichensatz bestimmen zu können. Die Vertreter der Computermetapher sehen die Kognition nun als ein System, das auf der Grundlage der Symbolverarbeitung funktioniert. Abbildung 17 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen Eingabe, Verarbeitung und Ausgabe der Tektonik eines auf der Computermetapher basierenden kognitiven Systems.

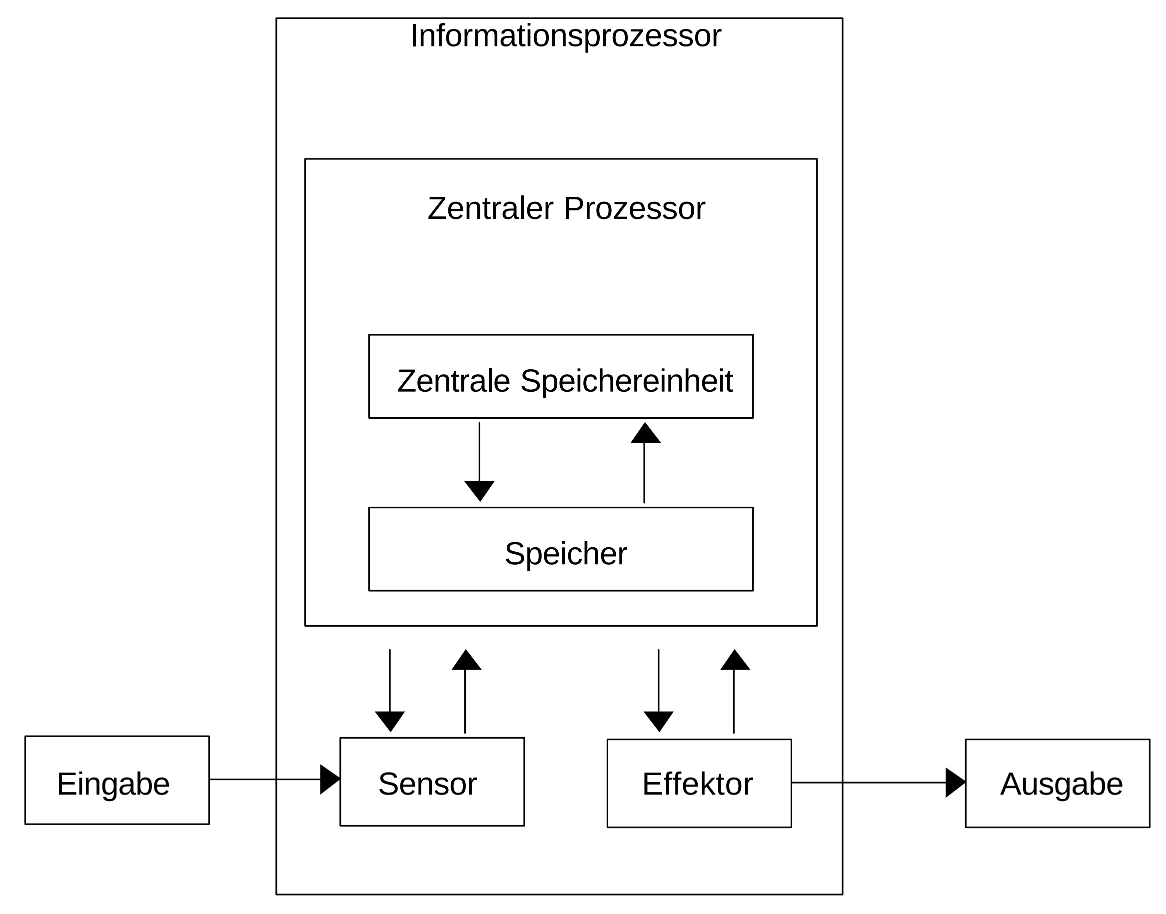



**Abbildung 20-17**

**Zur Tektonik eines auf der Computermetapher basierenden kognitiven Systems**

Abgesehen von der Problematik, daß bisher keine bedeutungsevaluierenden Algorithmen bekannt sind, ist die Übertragbarkeit der Computermetapher auf das kognitive Aktionsverhalten des Menschen vor allem deshalb problematisch, weil die folgenden grundlegenden Metaformen der Informationsrepräsentation bei technischen und natürlichen Systemen nicht immanent sind:

- **Kognitive Modelle: Mentale Symbole**

Die Computermetapher und die damit verbundene Auffassung von kognitiven Einheiten erscheint zunächst zwar plausibel, weil sie gut mit einigen in der naiven Psychologie und in der Alltagssprache vorkommenden Ausdrücken übereinstimmt (so werden in der Alltagssprache mentale Eigenschaften genauso behandelt wie Symbole der Außenwelt, Intelligenz wird als Objekt mit quantifizierbaren Dimensionen dargestellt und in Computerprogrammen lassen sich hohe und niedrige Intelligenz scheinbar dingfest machen), doch wird bei einer Übertragung dieser Verhältnisse auf die mentalen Eigenschaften von Menschen zwangsläufig ein Kategoriefehler begangen, da die Unterschiede zwischen externen und internen Symbolen vernachlässigt werden.

- **Kognitive Struktur: Systematizität**

  Viele Einheiten der Kognition sind in der Computermetapher nach dem Vorbild der natürlichen (menschlichen) Sprache konzipiert. Das für die Kognition relevante mentale Symbolsystem wird deshalb auch als "Language of thoughts" bezeichnet. Diese mentale Sprache besitzt wie die natürliche Sprache Regeln, die bestimmen, welche Einheiten miteinander verknüpft werden können. Durch die Kombination der Symbole wird auch die Bedeutung der Zeichensequenz festgelegt, analog zur natürlichen Sprache, wodurch aber ein weiterer Kategorienfehler der Computermetapher offenkundig wird: die Analogie der kognitiven Struktur wird so weit getrieben, daß auf eine eigenständige Untersuchung der Kognitionsprozesse weitgehend verzichtet wird. So haben nämlich bei der menschlichen Kognition verschiedene Symbole eine unterschiedliche Gewichtung, sowie je nach Strukturposition eine andere Bedeutung (Ich mag Tiere ≠Tiere mögen mich). Von der struktursensitiven Verarbeitung hängt aber u.a. die Fähigkeit zur Neu- und Reorganisation kognitiver Strukturen ab, die bei Nichtkenntnis von Metaformen der struktursensitiven Verarbeitung aber nicht gewährleistet werden kann.

- **Kognitive Umwelt und Funktion: Frame-Problem**

  Das Frame-Problem beschreibt die Unzugänglichkeit künstlicher kognitiver Systeme, daß es seine Umwelt nicht selbst wahrnehmen kann, wodurch es zu der einseitigen Behandlung von Umwelt und Funktion des kognitiven Systems kommt. In den Zugangsmöglichkeiten künstlicher Systeme zu ihrer Umwelt liegt daher ein weites Betätigungsfeld zukünftiger Forschung.

Aus der Erforschung der Computermetapher ergaben sich jedoch prinzipielle Ansätze für empirische Untersuchungen, die diese besser, d.h. aussagekräftiger, wissenschaftlich besser fun-

diert und nachvollziehbarer zu gestalten versprechen, von denen zwei an dieser Stelle aufgeführt werden sollen:

- Die **Experimentelle Reduktion**
  Ziel der experimentellen Reduktion ist die exakte Bestimmung von Ergebnisfunktionen unter äußerst eingeschränkten Laborbedingungen. Die dahinter stehende Vorstellung ist, daß unter solchen Bedingungen der mentale Aufbau und die mentalen Mechanismen des menschlichen kognitiven Systems besonders gut zu erschließen seien. Ist der "Mechanismus" unter einfachen Bedingungen aufgeklärt, können schrittweise komplexere Umwelt- und Verarbeitungsbedingungen eingeführt werden. Es häufen sich jedoch die Hinweise, daß ein solches Vorgehen beim Menschen nicht funktioniert, da sich nicht nur quantitative, sondern auch vielfältige qualitative Unterschiede bei den kognitiven Prozessen zwischen Labor- und Lebenssituation ergeben. Hierzu gehören Unterschiede der Motivation, der Relevanzeinschätzung, der Handlungseinbettung sowie der Sinnkonstitution.
- Die Evaluation **kognitiver Logiken**
  Wie die Computersprachen auf Prinzipien der Logik aufbauen, so bezieht sich die formale Methologie der Computermetapher auf logische Strukturen. Wird die kognitive Struktur im Sinn einer Language of thoughts aufgefaßt, ergibt sich diese Konsequenz von selbst. Ebenso wie die Logik das formale Instrumentarium ist, um Wahrheit oder Falschheit sprachlicher Aussagen zu bestimmen, so soll die kognitive Logik dazu dienen, die Gesetzmäßigkeiten der Kognition zu beschreiben und zu erklären. Daß ein solches Unterfangen eine nur sehr beschränkte Validität besitzt, wird immer offenkundiger. Sicher kann das Wissen, wie etwas nicht funktioniert, auch als Fortschritt der Forschung gesehen werden. Ziel der Kognitionsforschung war und ist jedoch das Funktionsprinzip der menschlichen Kognition. Man kommt darum nicht umhin, alternativen Metaphern, insbesondere den neurowissenschaftlichen Grundlagen der Erforschung des Geistes stärkere Beachtung zu schenken.

Die Anwendung der Computermetapher, so zeigt der hiesige kurze Abriß, vermag das komplexe Aktionsverhalten der natürlichen kognitiven Systeme nur unzureichend zu beschreiben, obwohl sie sehr wohl Hinweise auf eine bessere Validität kognitionswissenschaftlicher Experimente aufzuzeigen vermag. Bezogen auf unser Träger-Muster-Bedeutungs-Modell scheint diese Inkompetenz auch logisch, da hier von einer Struktur der künstlichen kognitiven Systeme ausgegangen wird, die die Existenz von bedeutungsevaluierenden Strukturen und die Existenz von

einer metaformenerzeugenden Informationsrepräsentation des sensoriellen Geschehens gewährleistet.

#### 20.8.1.2 Die Gehirnmetapher

Die zweite Leitidee der Kognitionswissenschaft ist die mit der Computermetapher im Wettstreit liegende **Gehirnmetapher**. Bei ihr wird davon ausgegangen, daß die Natur dem Gehirn einen völlig anderen Bauplan zugrunde legt als die Informatiker einem Standardcomputer. So verfügt das Gehirn ja nicht lediglich über ein zentrales Steuerwerk, sondern jedes einzelne Neuron fungiert gegenüber den anderen Neuronen als gleichberechtigte Verarbeitungseinheit. Das Gehirn verarbeitet daher Informationen nicht wie ein Computer auf der Grundlage einer zentralen Steuerung, sondern verteilt die Verarbeitung auf viele Komponenten, was eine gleichzeitige Aktivität vieler Neuronen ermöglicht. Strenge Verfechter der Gehirnmetapher postulieren denn auch, daß bei der kognitionswissenschaftlichen Modellierung von kognitiven Systemen keine verarbeitenden Strukturen auftreten dürfen, die den elementaren Funktionsprinzipien des zentralen Nervensystems (zumindest wie sie von der Neurowissenschaft erarbeitet worden sind) widersprechen. Das Ziel der Gehirnmetaphern ist es daher, die neuronale Adäquatheit bei der Modellierung künstlicher kognitiver Systeme zu wahren. Abbildung 18 skizziert die prinzipielle Tektonik eines Systems, welches auf der Gehirnmetapher basiert.

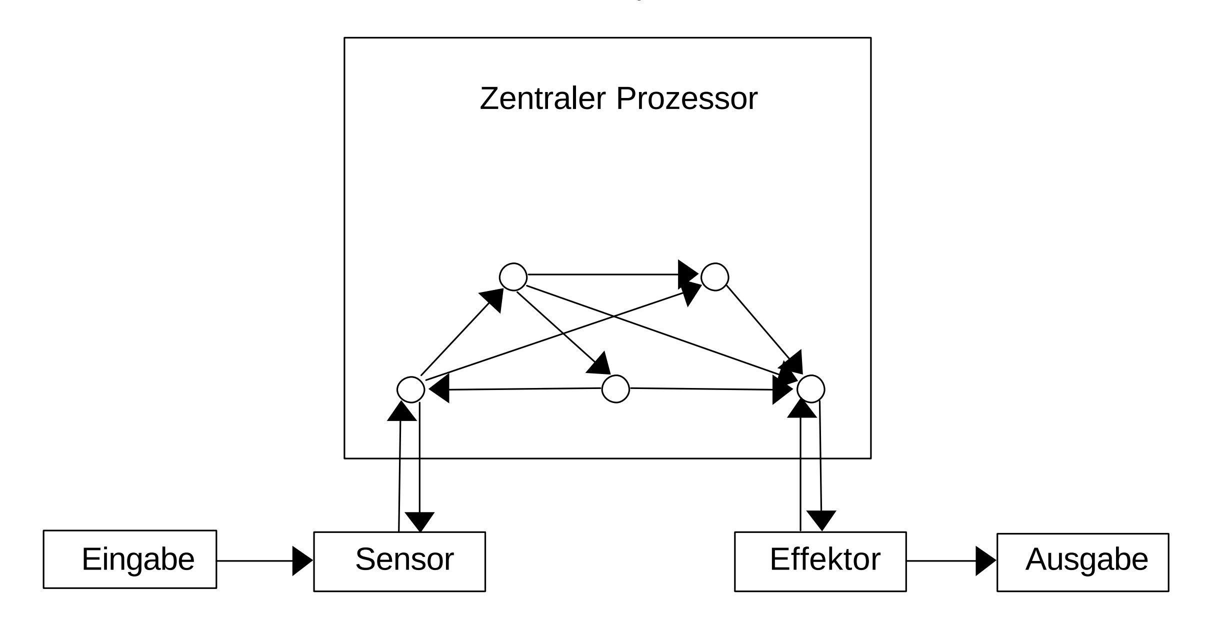



**Abbildung 20-18**: Tektonik eines auf der Gehirnmetapher basierenden Systems

Aus diesem Ansatz ergeben die folgenden theoretischen Konsequenzen der Gehirnmetapher in Bezug auf den Aufbau von kognitiven Systemen:

- **Kognitive Komponenten: Neuronale Einheiten**
  Grundannahme der Gehirnmetaphern ist, daß der zentrale Prozessor eines kognitiven Systems, wie das Gehirn, aus vielen einfachen Informationsprozessoren zusammengesetzt ist, die durch Aktivierung von Nachbarprozessoren zur kognitiven Verarbeitung beitragen. Als Vorbild dieser maschinellen Einheiten dienen die neuronalen Einheiten des Gehirns. Hinsichtlich der Modellierung der einzelnen Komponenten (lokal oder distributiv) gibt es derzeit keine einstimmige Meinung.
  Die lokale Modellierung sieht für jede Wisseneinheit einen einzelnen, je nach Gewichtung kleineren bzw. größeren Knoten im Netzwerk (siehe Chunkingprinzip) vor. Beispielsweise gibt es für die Wissenseinheit Rad einen kleineren Knoten als für die Wissenseinheit Fahrrad. Bezüglich der distributiven Modellierung stellen Wissenseinheiten ein Verteilungsmuster in einem Netzwerk mit nicht benannten Knoten dar. So würde die Wissenseinheit Fahrrad in vielen Knoten mit der Wissenseinheit Fortbewegungsmittel überlappen, was zu einer immensen Steigerung der Speicherökonomie führt.
  Für die lokale Modellierung spricht ihre Übersichtlichkeit und Verbindbarkeit mit symbolischen Modellierungen, für die distributive Darstellung die größere Nähe zum neuronalen Aufbau des Gehirns.
- **Kognitive Struktur: Neuronale Netze**
  In den durch die Verbindung neuronaler Einheiten entstehenden Netzwerken, den neuronalen Netzen, wird allen Einheiten eine gleichberechtigte Rolle zugeschrieben. Durch diese enge Kooperation zwischen den Einheiten wird ein ganz anderer Aufbau als in einem herkömmlichen Computer mit einer Von-Neumann-Architektur realisiert. Die Verarbeitungskontrolle geht nicht von einer zentralen Steuereinheit aus, sondern ist dezentral auf alle an der Verarbeitung beteiligten Ebenen verteilt. Hierdurch wird eine zeitlich parallele Verarbeitung von Informationen ermöglicht.
- **Kognitive Umwelt und Funktion: Robustheit**
  Durch die verteilte und parallele Verarbeitung von Informationen kann eine deutliche Steigerung der Verarbeitungseffektivität erreicht werden. Besonders deutlich wird dies im Hinblick auf eine große Robustheit, daß heißt die Fähigkeit, auch mit defizitären, d.h. unvollständigen Informationen umgehen zu können. Robustheit ist eines der hervorstechenden

Charakteristika natürlicher kognitiver Systeme, die oft in bewundernswerter Weise aus minimalen Informationen noch Bedeutung und Sinn entnehmen können. Um Robustheit auch tatsächlich erproben zu können, benötigen neuronale Netze direkten Kontakt zu ihrer Umwelt. Wird ihnen dieser nicht ermöglicht, sondern erhalten sie ihr Wissen durch Implementation mittels Programmierer, so droht ihnen ein ähnliches Schicksal wie den mit symbolischen Formalismen arbeitenden Systemen: Sie sind dem Frame- Problem ausgesetzt, das sie mit ihrem begrenzten Wissen nicht lösen können.

Die Konsequenzen der Gehirnmetapher sind zum einen in der empirischen Gehirnforschung, zum anderen in der Entwicklung neuer formaler Methoden (z.B. künstliche neuronale Netze) zu sehen:

- **Empirische Gehirnforschung:**
  Die geradezu explodierenden Fortschritte auf diesem Gebiet in den letzten Jahren haben zu der Auffassung geführt, man müßte nur möglichst viel über das menschliche Gehirn wissen, damit auch klar würde, wie die Kognition funktioniert. Diese Überzeugung basiert auf der Annahme, daß das Gehirn der zentrale Ort ist, an dem sich die kognitiven Prozesse abspielen. Diese Vermutung führte zu einer intensiven Erforschung des Gehirns im Rahmen der Neurowissenschaften. Die Ergebnisse dieser Forschungen stellen inzwischen die Grundpfeiler der modernen Kognitionswissenschaften dar. An dieser Stelle werden, der Vollständigkeit halber, die drei wichtigsten bildgebenden Verfahren der Neurowissenschaften vorgestellt, mit denen kognitive Prozesse im Gehirn lokalisiert werden können:

  **Positronen-Emissions-Tomograhie** (**PET**): Mit dem PET- Verfahren werden Stellen erhöhter Verarbeitungsaktivität im Gehirn mittels schwach radioaktiver Stoffe im Blutkreislauf sichtbar gemacht. Nachteilig ist die geringe zeitliche Auflösung. Prozesse im Millisekundenbereich können daher nicht erfaßt werden.

  **Kernspin-Tomographie** (functional Magnetic Resonance Imaging = **fMRI**): Durch die Veränderung elektrischer Magnetfelder des Gehirns kann die Veränderung der Sauerstoffzufuhr gemessen werden. Dieses Verfahren liefert exakte Informationen über die Lokalisierung der Effekte, ist in der zeitlichen Auflösung jedoch ebenfalls problematisch.

  **Mehrkanal-Magnet-Encephalogie** (**MEG**): Die von der Gehirnaktivität herrührenden magnetischen Felder werden aufgezeichnet. Das MEG- Verfahren erbringt eine bessere zeitliche Auflösung, die Information über den Ort der Aktivität ist allerdings sehr grob.

Trotz der vielen Fortschritte auf dem Gebiet der Neurowissenschaften weiß man in nicht ausreichendem Maße (nicht zuletzt aufgrund mangelnder Untersuchungsmöglichkeiten) über die Vorgänge im Gehirn Bescheid. Ein weiterer wichtiger Gesichtspunkt zum Verständnis der Gehirnprozesse ist die Zuhilfenahme weiterer Informationsquellen. So müssen die Informationsstrukturen in der Umwelt des Gehirns bekannt sein. Um die Prozesse im Gehirn darauf beziehen zu können, muß die Entstehungsgeschichte dieser Prozesse in phylo-, onto- und aktualgenetischer Hinsicht geklärt werden.

- **Künstliche neuronale Netze**

Aus der Erkenntnis heraus, daß neuronale Prozesse höchst komplex sind, wurde nach Wegen und Mitteln gesucht, um diese Komplexität beschreiben und erklären zu können. Ein erster Vorstoß in diese Richtung war der Nachweis von Minsky und Papert 1969, daß das von Rosenblatt (1958) als Percepton bezeichnete neuronale Netzwerk die logische Struktur des ausschließenden Oder (XOR) wegen seines zu einfachen Aufbaus nicht zu erkennen vermochte. Aus der Forschung der letzten Jahre gab es eine Vielzahl von Überlegungen, wie auf der Basis der einfachen Netzstruktur eines kognitiven Prozessors die komplexen Vorgänge menschlicher Kognition erklärt werden könnten.

Ein wichtiger Punkt neuronaler Adäquatheit ist, neben der distributiven und parallelen Informationsverarbeitung, das Wissen über den Zeitbedarf für die Aktivität eines Neurons. Dieser Zeitbedarf liegt in der Größenordnung von 1 ms. Aus der Tatsache, daß einfache kognitive Prozesse bereits in 100 ms durchgeführt werden können, ergibt sich die sogenannte Hundert- Schritte- Regel für Modelle kognitiver Prozesse. Hiernach sollten Modelle in der Lage sein, den geforderten Endzustand in etwa hundert Zeitschritten zu erreichen. Diese Forderung ist nur bei massiver Parallelität in Verbindung mit höchster Effizienz eines Systems erreichbar, die Anwendung mathematischer Methoden der Systemtheorie scheint notwendig.

Das Manko bei der Simulierung natürlicher kognitiver Prozesse liegt - bis zum heutigen Tage - in der Behandlung ihrer Umwelt. Solange der Prozessor nicht über Sensoren und Effektoren verfügt, mit deren Hilfe er in direkten Kontakt zu seiner Umwelt treten und diese damit selbst gestalten kann, wird nur eine Hälfte des kognitiven Systems untersucht. Ein solches System ist sozusagen lahm und blind. Die zukünftige Aufgabe der Kognitionswissenschaften muß es daher sein, den Informationsprozessor zum Sehen und Gehen zu bringen.

### *20.8.1.3 Die kognitive Information*

Um die Tektonik eines kognitiven Systems beschreiben zu können, müssen wenigstens eine **verarbeitende** und eine **zu verarbeitende Komponente** vorhanden sein. Die zu verarbeitende Komponente wird aus der kognitiven Perspektive als **kognitive Information** bezeichnet, während die verarbeitende Komponente durch das die Entscheidung treffende Werkzeug (dry-net, wet-net, Klassifikator) definiert wird. Die Klärung des Informationsbegriffes an sich ist dabei eine der wichtigsten Voraussetzungen für die Analyse kognitiver Systeme im Bezug auf das informationsverarbeitende System. Allerdings ist, bedingt durch divergente philosophische, bzw. technische Vorstellungen, eine einheitliche Begriffsbestimmung des Informationsbegriffes bisher noch nicht erzielt worden.

Zwar wird in der Biophysik unter dem Begriff der Information meist die berechenbare Größe der Entropie verwendet, doch sind heutzutage in der Wissenschaft, der Technik oder im Alltag häufig unterschiedliche Begriffsdefinitionen im Gebrauch, wodurch sich das sog. **Objekt-Subjekt-Problem** ergibt. Dieses befaßt sich mit der Problematik, wie es dem Menschen gelingt, zu einer Erkenntnis der Welt zu gelangen, d.h. es versucht, die Fähigkeit des Menschen seine Umwelt und deren Information zu erfassen, durch mathematische Modellierungen wissenschaftlich exakt zu beschreiben. Spätestens seit der Mensch daran geht, künstliche kognitive Systeme zu entwickeln, die seine Welterkenntnis simulieren, genügt dabei eine alleinige philosophische Betrachtungsweise dieses Problems nicht mehr den erhöhten Anforderungen, sondern eine allgemeine **Kodierungstheorie** mit festgelegten Begriffen und Informationsbegriffen ist gefordert. Im Folgenden sollen daher einige Ansätze dieser Kodierungstheorien erläutert werden.

#### 20.8.1.3.1 Zeichen

Informationsträger werden häufig **Zeichen** genannt. Der Zeichenbegriff ist die Basis vieler kognitionswissenschaftlicher Ansätze. Zwischen den Begriffen der Information und den Zeichen besteht aber in so fern ein Unterschied, daß einander entsprechende Informationen auf zum Teil sehr unterschiedliche Weise übermittelt werden können, wobei man prinzipiell zwischen natürlichen und künstlichen Zeichen unterscheidet. Ein natürliches Zeichen ist dabei z.B. die Gestalt eines Baumes, während ein künstliches Zeichen z.B. der Letter einer Schrift ist. Zeichen sind dabei immer an einen Zeichenträger - das sie darstellende/manifestierende Medium - ge-

bunden, wobei das Medium wiederum starke Beschränkungen hinsichtlich Art und Dauerhaftigkeit der übertragenen Information setzt. Bezüglich der menschlichen Kognition unterscheidet man dabei heute vor allen Dingen zwischen zwei Typen von Zeichen, nämlich zwischen den Signalen und den Symbolen.

- Ein **Signal** ist dabei ein Zeichen, das in natürlicher Weise entstanden ist, so daß Signale in diesem Sinn oft auch **Anzeichen** genannt werden. Unter diesen so definierten Signalbegriff fallen nicht nur diejenigen Objekte, die in der Umgangssprache als Signal bezeichnet werden. Signale sind vielmehr alle natürlichen Informationsträger, die von den internen und externen Sensoren eines kognitiven Systems wahrgenommen oder an seine Effektoren abgegeben werden.

- Ein **Symbol** ist ein Zeichen, das aufgrund von Konventionen zwischen Informationsprozessoren zustande gekommen ist. Konstitutiv für ein Symbol ist die Willkürlichkeit der Zuordnung zwischen Zeichen und bezeichnetem Objekt. Dabei spielt es keine Rolle, ob die Konventionen den Informationsprozessoren bewußt sind oder nicht.

Die oft diskutierte Frage, ob die menschliche Kognition eher als Symbol- oder als Signalverarbeitung konzeptualisiert werden sollte, ist bis heute ungeklärt und kann nur von Fall zu Fall durch jeweilig detaillierte Untersuchungen der Anteile der beiden Informationstypen an der jeweiligen Kognition geklärt werden.

Zeichen sind nicht immer eindeutig, sondern können codiert sein. Dies wir durch eine sog. **Coderelation** vollzogen, die ein Zeichensystem in ein anderes Zeichensystem transformiert, wobei der Informationsgehalt des Ursprungzeichens möglichst gleichbleiben sollte. Bekannte Beispiele für solche Coderelationen sind der Morsecode, der Buchstaben durch bestimmte Folgen langer und kurzer Töne ersetzt oder das Binärsystem, bei dem die Zahlen des üblichen Dezimalsystems mit Hilfe von Kombinationen aus den Zahlen 0 und 1 ersetzt werden. Codierungen dieser Art treten in natürlichen kognitiven Systemen allerdings selten auf.

Ein Gebiet, wo die Coderelationen gerne verwendet werden, ist die modellhafte Beschreibung der sprachlichen Kommunikation, die zur sog. **Sender-Empfänger-Metapher** führte. Nach dieser Metapher encodiert der Sender Konzepte in bestimmte Symbole und schickt sie mit Hilfe eines Mediums zum Empfänger. Der Empfänger decodiert seinerseits Konzepte aus der empfangenen Botschaft. Die Sender-Empfänger-Metapher ist als technische Projektion der Auffassung,

daß Sprache wie ein Behälter funktioniert, mit dessen Hilfe Bedeutung transportiert wird. Die Reduzierung sprachlicher Kommunikation auf Encodierung und Decodierung von Symbolen ist natürlich nur eine unvollständige Beschreibung, da nach der oben beschriebenen Interferenztheorie ja ein sehr viel größerer Teil der Sprachverarbeitung den diversen Interferenzprozessen zugeschrieben werden muß.

#### 20.8.1.3.2 Informationsrelationen

Informationen lassen sich nach der Art der an ihnen beteiligten Relationen in verschiedene Typen gruppieren. Die wichtigsten sind:

- Die **sensorische Information**:
  Sie wird von den Sensoren des kognitiven Systems aufgenommen, verarbeitet und an den zentralen Prozessor weitergeleitet. Mit Hilfe der sensorischen Information kann das kognitive System seine Welt erkennen und die Effekte seines eigenen Verhaltens mittels einer Feedback-Reaktion kontrollieren.

- Die **effektorische Information**:
  Sie umfaßt die informationsbezogenen Auswirkungen des kognitiven Prozessors auf seine Umwelt. Die für die meisten Lebewesen wichtigsten sind die motorischen Informationen, da mit ihnen Bewegungen erzeugt und/oder Umweltobjekte beobachtet und manipuliert werden können. Durch diese Beobachtungen/Veränderungen werden Umweltobjekte erst zu informationstragenden Zeichen erhoben.

- Die **syntaktische Information**:
  Die wenigsten für den Menschen wichtigen Zeichen treten allein auf, sondern gruppieren sich gewöhnlich in zeitlichen Relationen zu komplexen Informationen. Die komplexen Signale und Symbole werden dabei zu sprachlichen Sätzen, Texten und Diskursen. Die dabei zwischen den einzelnen Zeichen auftretenden Relationen sind die syntaktischen Informationen. Um die syntaktische Information bestimmen zu können, ist es notwendig zunächst die Zeichen, zwischen denen die syntaktischen Relationen bestehen zu kategorisieren. Erst auf dieser Grundlage kann entschieden werden, in welchen zeitlichen Sequenzen die einzelnen Kategorien aufeinander folgen.

- Die **semantische Information**:

Sie bildet das Kernstück des gesamten Informationssystems, denn durch sie wird die Verbindung zwischen dem Informationsträger und der Informationsquelle hergestellt. Die semantische Informationsrelation liefert deshalb die Bedeutung der Information, welche am leichtesten analysiert werden kann, wenn die Informationsquelle bekannt ist. Die unmittelbare Informationsquelle ist in Fällen symbolischer Information der Informationsproduzent, der jedoch seinerseits die meisten Informationen häufig wiederum von anderen Informationsquellen, zum Beispiel von anderen **Produzenten** oder aus eigener Anschauung, bezieht. Die verschiedenen Informationsquellen, in diesem oft über viele Zwischenstationen und Medien reichenden Informationsfluß, müssen bei der Analyse der semantischen Information berücksichtigt werden.

- Die **pragmatische Information**:
  Sie tritt vordergründig nur bei einem Teil von Kognitionen auf. Sie bezieht sich auf die an einer Kognition beteiligten Partner und ist deshalb vor allem dann relevant, wenn die Kognition Teil einer Kommunikation, daß heißt einer Informationsübermittlung ist.

Eine wichtige Voraussetzung der Kommunikation ist dabei der Grad der Gemeinsamkeit der potentiellen Umwelt für die Kommunikationspartner. Ein gewisser Anteil an der kommunikativ konstituierter Welt, daß heißt einer Umwelt, von der die Partner bewußt oder unbewußt annehmen, daß sie ihnen gemeinsam ist an der gesamten Welt, entscheidet wesentlich über das Gelingen der Kommunikation.

### 20.8.2 Die Dynamik eines kognitiven Systems

Die zweite grundlegende Dimension eines kognitiven Systems (neben seiner Tektonik) ist seine Dynamik. Während die Tektonik den Zustand eines Systems zu einem bestimmten Zustand beschreibt, wird mit der **Systemdynamik** die Veränderung von Zuständen und die Auswirkungen dieser Veränderungen auf das Systemverhalten analysiert. Dabei wird davon ausgegangen, daß eine Sequenz aufeinanderfolgender Zustände als ein (**kognitiver**) **Prozeß** verstanden wird. Eine wichtige Voraussetzung der meisten Prozesse kognitiver Informationsverarbeitung ist dabei eine über eine begrenzte Zeitspanne hinweg anhaltende Speicherung von Wissen und ein vereinbarter gemeinsamer Zeichensatz, der als Sender-Empfänger-Dekodierungsgrundlage dient. Während durch das Arbeitsgedächtnis bestimmte Einheiten des Wissens relativ kurzfristig aktiviert werden, wird durch das Langzeitgedächtnis eine längerfristige Veränderung des

Wissens bewirkt. Die Zustandsänderung der kognitiven Informationsverarbeitung ist manchmal nur quantitativer, meistens jedoch qualitativer Art. Dies hängt mit dem Bekanntheitsgrad der aufgenommenen Information zusammen. Es können folgende drei Fälle unterschieden werden:

- Ist die gesamte Information bereits bekannt, so ändert sich durch die Verarbeitung nur das Wissen über die Häufigkeit dieser Information. Das dazugehörige kognitive Modell bleibt bestehen. In diesem Fall sind die Veränderungen quantitativer Art.
- Sind die Komponenten und Relationen der Informationen bereits bekannt, jedoch neu miteinander kombiniert, so ist eine Umstrukturierung des kognitiven Modells notwendig. Eine solche Reorganisation bedeutet meistens auch eine qualitative Veränderung, da die neuen Kombinationen emergente Eigenschaften hervorbringen können.
- Enthält die Information neue Komponenten oder Relationen, so reicht eine bloße Reorganisation des vorhandenen kognitiven Modells nicht mehr aus. Vielmehr muß ein vollkommen neues Modell mit einer neuen Komposition und Struktur gebildet werden. Hier liegt nicht nur eine qualitative Veränderung des alten kognitiven Modells vor, sondern es entsteht in Prozessen der **kognitiven Genese** ein völlig neues.

Werden die unterschiedlichen Dynamikbereiche nicht in ausreichender Weise voneinander unterschieden, so erwächst die Gefahr, daß wichtige Einsichten in die sich dabei abspielenden Prozesse und vor allen deren Bedingungen und Konsequenzen behindert werden. Ein derartiges Risiko besteht zum Beispiel dann, wenn zu viele kognitive Prozesse unter dem vagen und unstrukturierten Oberbegriff „Denken“ zusammengefaßt werden. Durch eine funktionale Analyse können kognitive Prozesse, die umgangssprachlich zum Denken gezählt werden, entweder der **kognitiven Produktion**, der **kognitiven Rezeption** oder den schon besprochenen allgemeinen **Lernprozessen** zugeordnet werden. Da die Dynamik der kognitiven Prozesse die zeitlichen Veränderungen der Tektonik beschreibt, kann im Dynamikbereich ebenfalls zwischen der Computer- und der Gehirnmetapher unterschieden werden: Während ein Computer Informationen auf der Basis von Steuerungsprozessen verarbeitet, bestehen die neuronalen Vorgänge im Gehirn im wesentlichen aus Regelungsprozessen.

Man unterscheidet deswegen bei der Dynamik von kognitiven Systemen zwischen:

- der **Steuerungsmetapher**, die die Dynamik der Computermethaper beschreibt,
- der **Regelungsmetapher,** die die Dynamik der Gehirnmetapher beschreibt und

- der **Handlungsmetapher**, die die Dynamik der menschlichen Kognitionsdynamik beschreibt.

Im folgenden sollen diese Begriffe näher erläutert werden.

#### *20.8.2.1 Die Steuerungsmetapher*

Das dynamische Verhalten von Computern wird bestimmt durch seine zentralen Steuereinheiten, die in sequentieller oder paralleler Weise einzelne Operationen im Arbeitsspeicher auslösen/abarbeiten. Eine Steuerung liegt dabei immer dann vor, wenn die Beeinflussung des Zustandes des Computers oder einer Peripherie nur in eine Richtung vor sich geht. Ein Steuerungssystem besteht dabei also mindestens aus zwei Subsystemen und zwar dem Subsystem, dessen Zustand sich ändert, (gesteuertes System) und dem Subsystem, das die für die Veränderung relevante Eingabe produziert, (steuerndes System), wie in Abbildung 19 dargestellt.

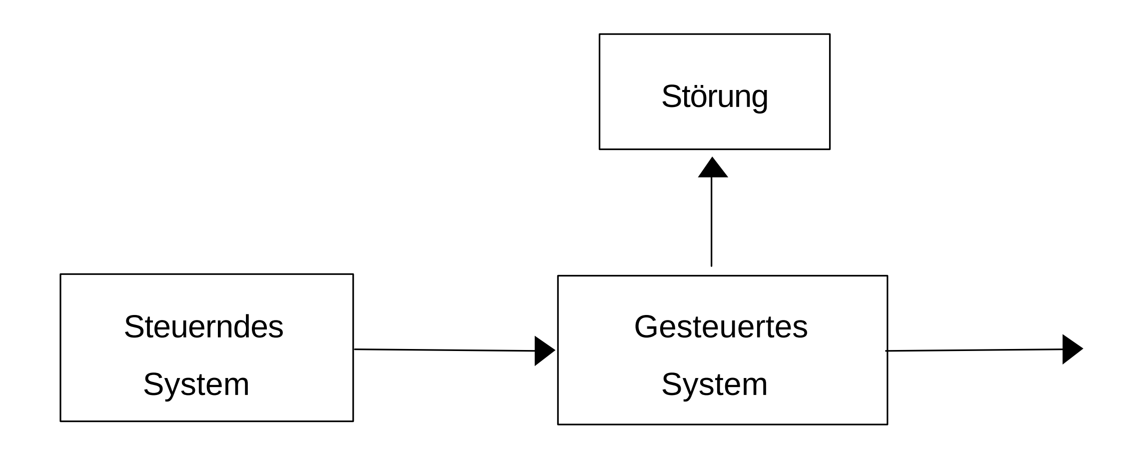



**Abbildung 20-19**

**Die Steuerung kognitiver Systeme**

#### *20.8.2.2 Konsequenzen aus der Definition der Steuerungsmetapher*

Der Begriff der Steuerung ist für jede Theorie der kognitiven Dynamik von Bedeutung, wie unter anderem kybernetisch und automatentheoretisch orientierte Forschungen gezeigt haben. Sowohl das steuernde als auch das gesteuerte Subsystem können aus Sicht eines kognitiven Prozessors interner als auch externer Natur sein. Damit ergeben sich die für die Analyse von dynamischen Systemen immer grundlegende **Ergebnis-** und **Übergangsfunktionen**, auf einfache grundlegende Steuerungsprozesse zurückführen, was die Bedeutung des Steuerungsbegriffes für

die Analyse der Dynamik kognitiver Systeme aufzeigt. Allerdings muß bei den meisten kognitiven Systemen mit äußerst komplexen Interaktionen zwischen den verschiedenen Zuständen und Einheiten gerechnet werden, so daß hieraus Funktionen resultieren, die mathematisch nur noch schwer zu fassen sind. Es lassen sich aber mit Hilfe des Steuerungsbegriffes einige einfache Unterscheidungen treffen:

- alle Steuerungsprozesse lassen sich hinsichtlich des internen Auftretens zum einen in strukturelle Prozesse einteilen, die sich in strukturellen Relationen zwischen den Komponenten einer kognitiven Einheit abspielen und zum anderen in funktionale Prozesse, die das System mit seiner Umwelt verknüpfen.

- Für die Gesamtdynamik eines kognitiven Akts (gemäß der Steuerungsmetapher) ist die Verlaufsrichtung der Prozesse entscheidend. Da sich die Gesamtstruktur des kognitiven Prozessors aus den Relationen der aufeinander aufbauenden kognitiven Einheiten ergibt, können die Verbindungen zwischen diesen Einheiten durch aufsteigende oder absteigende Prozesse hergestellt werden. Innerhalb der funktionalen Prozesse kann daher unterschieden werden, ob ein kognitiver Prozeß von der aktuellen Einheit ausgehend vorwärts verläuft und dadurch Erwartungen aufgebaut werden oder ob dieser von der aktuellen Einheit ausgehend rückwärts zu bereits verarbeiteten Informationen geschieht.

Das Manko der Steuerungsmetapher ist, daß das entworfene Bild der kognitiven Dynamik die Realität der menschlichen Informationsverarbeitung nur sehr vereinfacht wiedergibt. So kann diese Konzeption nicht erklären, warum viele kognitive Systeme offensichtlich bestimmte Zustände anstreben und andere vermeiden. Ein weiteres Defizit liegt in der Vernachlässigung der **kognitiven Adäquatheit**.

Für die Modellierung der kognitiven Dynamik als Steuerung dienen als grundlegende Charakteristika der menschlichen Kognition **physikalische Symbolsysteme**. Die Theorie der physikalischen Symbolsysteme beschreibt dabei das kognitive System als ein aus vielen einzelnen Modulen bestehendes komplexes Steuerungssystem, daß Inputinformationen in Outputinformationen umwandelt. Viele der sogenannten symbolverarbeitenden Ansätze der künstlichen Intelligenz bauen die Dynamik ihrer Modelle in entsprechender Weise auf. **Symbolverarbeitende Systeme** sind solche Systeme, die Symbole und deren definierte Kombinationen verarbeiten. Je nach dem, auf welcher Ebene der Eingabeinformation diese Definitionen vorgenommen werden,

können völlig unterschiedliche Informationen verarbeitet werden. Wichtig dabei ist, daß unter Symbolen auch solche Informationen zu verstehen sind, die bei natürlichen Systemen als Signale aufgefaßt werden.

Die symbolverarbeitende Kognitionswissenschaft hat eine Vielzahl verschiedener Typen der Systemdynamik hervorgebracht. Zu den wichtigsten gehören:

- die **Produktionssysteme**:
  Sie sind in ihrer Funktionsweise den Computern mit einer klassischen Von-Neumann- Architektur angepaßt und verfügen daher durch ihren Speicher über ein Repertoire von Regeln, die beim Vorliegen bestimmter Bedingungen zur Anwendung kommen,

- die **objektorientierten Systeme**:
  bei ihnen wird die Verarbeitungskontrolle dezentral ausgeführt. Bei diesem Systemtyp haben viele Regeln keine globale Geltung, sondern sind einzelnen Einheiten des Systems zugeordnet, so daß eine Verteilung der Verarbeitungskontrolle und damit auch eine parallele Verarbeitung möglich ist,

- **die Marker-Passing-Systeme:**
  diese Systeme funktionieren auf der Basis ungerichteter Aktivierungsausbreitung zwischen einzelnen Konzepten. Die verwendete **Anti-Promiskuität-Regel** verhindert dabei eine globale Aktivierung des Netzwerkes, in dem Konzepte, die besonders viele Verbindungen zu Nachbarkonzepten haben, nicht aktiviert werden dürfen. Zudem darf die Aktivierung nur über eine bestimmte Anzahl von Stationen laufen. Obwohl mit den Marker-Passing-Systemen versucht worden ist, bei der Simulation gewisse Aktivierungsprozesse im Gehirn zu berücksichtigen, sind diese Systeme jedoch weit von einer kognitiven Adäquatheit entfernt.

#### *20.8.2.3 Regelungsmetapher*

Adäquater als mit der Steuerungsmetapher läßt sich die kognitive Dynamik von Lebewesen mit der **Regelungsmetapher** beschreiben, da in ihr **die Rückkopplung der gefundenen „Entscheidungen“ des Systems** mit integriert sind. So besteht ein Regelungssystem nämlich immer aus mindestens zwei Steuerungssystemen, die sich gegenseitig beeinflussen, indem die Ausgabe

einer Systemteilkomponente jeweils als Eingabe für die andere Systemkomponente fungiert. Auf diese Weise wird ein **Verbund** zwischen den verschiedenen Systemkomponenten geschaffen, mit dem ein bestimmter Sollzustand (Stabilität, Gleichgewicht) erreicht und aufrecht erhalten werden kann. Natürlich wird aus der Regelung eine bloße Steuerung, sprich aus der Regelungsmetapher wird eine Steuerungsmetapher, wenn die Rückwirkung der geregelten Systemkomponente auf die regelnde Systemkomponente so gering ist, daß sie vernachlässigt werden kann.

Eine einfache Realisierung eines Regelsystems ist der Regelkreis, der aus zwei Subsystemen besteht - nämlich einer regelnden Systemkomponente (Regler) und einer zu regelnden Systemkomponente (Regelstrecke). Im kybernetischen Schema empfängt die Regelstrecke eine etwaige Störungsgröße, die auf das System einwirkt, wobei diese sich meist gerade aus der Abweichung des dem Regler vorgegebenen Sollwertes und des tatsächlich gemessenen Wertes, der in den Regelkreis einfließenden Sensordaten (sprich seines Bildes von der zu regelnden Umwelt) ergibt. Der Regler versucht dann über den Parameter der Stellgröße die Regelstrecke dahingehend zu verändern, das die Störung aufgehoben wird, sprich der von der Regelstrecke an den Regler gelieferte Meßwert den Sollvorgaben entspricht. In Abbildung 20 ist dieses Schema noch einmal dargestellt.

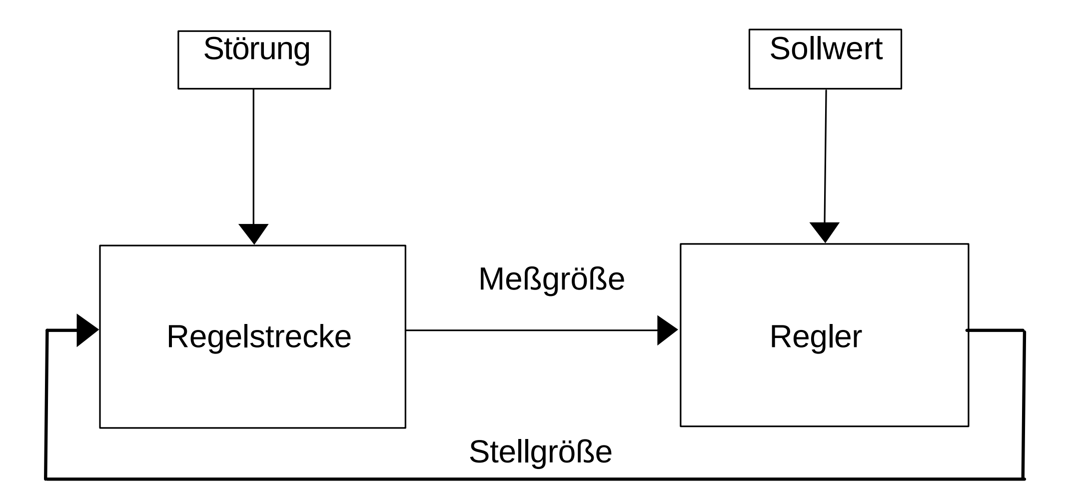


**Abbildung 20-20**

**Die Regelung kognitiver Systeme**

Auch bei Lebewesen kann man solche Regelungssysteme in vielfältigen Ausprägungen beobachten, da es sich bei ihnen um Systeme handelt, die sich selbst erzeugen, erhalten und verändern. Durch den Zusammenschluß ihrer elementaren Komponenten zu funktional differenzierten Organen grenzen sich Lebewesen von ihrer Umgebung ab und bilden eine eigenständige Tektonik, Dynamik und Genetik aus. Unter dem evolutionären Druck, eine weitgehende Unabhängigkeit von den Schwankungen der Außenwelt zu erlangen, wurde zum Beispiel die Beibehaltung einer gleichmäßigen Körpertemperatur, dadurch realisiert, daß ein weitgehend autonomer Regelungsverbund die Temperatur der Umwelt, in der sich das Lebewesen gerade aufhält mit der Innentemperatur des Lebewesens vergleicht und durch geeignete Soffwechselmechanismen auf die arttypische Temperatur einstellt. Allgemein bezeichnet man diese autonomen Regelverbünde auch als **homöostatische Systeme**.

#### *20.8.2.4 Konsequenzen der Regelungsmetapher*

Die Regelungsmetapher beschreibt die Prozesse der Informationsverarbeitung als interaktiven Informationsaustausch zwischen verschiedenen Systemkomponenten, wobei je nach dem, ob der Regelvorgang zwischen einer aktivierten Systemkomponente und seiner Umwelt relativ früh bzw. spät einsetzt, die Regelungsvorgänge zu **autonomen** oder **interaktiven Prozessen** werden. Dabei bestimmt die Komplexität der Informationsverarbeitungsprozesse die Art der Regelvorgänge, da zum Teil sehr unterschiedliche **Regelwissensbestände** aufeinander abgestimmt werden müssen.

Ein interaktiver Regelungsprozeß kann dabei als das dynamische Kernstück der meisten konnektionistischen Ansätze und Modellierungen der **neuronalen Netze** verstanden werden, wobei davon ausgegangen wird, daß während der Symbolismus eine Analogie zwischen dem Aufbau des Gehirns und einem Computer aufzubauen versucht, der Konnektionismus die Annahme vertritt, daß man Kognition an Hand des Zusammenspiels untereinander verbundener, nervenartiger Elemente beschreiben kann. Dabei wird allerdings davon ausgegangen, daß in einem neuronalen Netz nicht wie in einem herkömmlichen Computer eine Von-Neumann-Architektur des Rechenwerks zugrunde gelegt ist, sondern jedes Neuron ein eigenes Rechenwerk besitzt. Die so

entstehende Dynamik bedarf natürlich zu ihrer Analyse neuer konzeptueller Instrumente, die heute meist auf der fundierten Analyse kognitiver Prozesse mit Hilfe der Systemtheorie oder in jüngster Zeit auf den Grundlagen der Chaostheorie basieren. Die einzelnen in den Netzwerken ablaufenden Teilprozesse unterscheiden sich dabei bezüglich ihrer Zeitrelation (sequentiell oder parallel) und ihrer Aktivierungsqualität (erregend oder hemmend).

Die Erforschung von Prozessen der Kognitiven Dynamik in natürlichen und künstlichen neuronalen Netzwerken kann empirischer oder formaler Art sein. Auf dem Gebiet der empirischen Erforschung der natürlichen Gehirndynamik konnten aufgrund der Vielzahl von Beobachtungen über die Informationsverarbeitung in neuronalen Netzen in den letzten Jahren große Fortschritte verzeichnet werden. Hierzu gehört unter anderem die möglicherweise für viele höhere kognitive Verarbeitungsprozesse grundlegende **Synchronisierung der Aktivität** von verschiedenen Neuronen bzw. Neuronenverbänden.

Nicht geringer als im Bereich der Erforschung der natürlichen Gehirnprozesse sind die Fortschritte auf dem Gebiet der Dynamik künstlicher neuronaler Netze einzuschätzen. Im Gegensatz zu den symbolverarbeitenden Netzwerken versuchen die konnektionistischen Netzwerke, kognitive Dynamik zu simulieren. Neue Analysemethoden ermöglichen es dabei, den Aktivierungszustand eines Netzes zu einem gegebenen Zeitpunkt zu überprüfen, wodurch die Simulation nicht mehr einer bloßen Ergebnissimulation, sondern einer echten Prozesssimulation entspricht, was gerade zum gegenwärtigen Zeitpunkt zum Fortschritt in der dynamischen Theoriebildung in der Kognitionswissenschaft beiträgt.

#### *20.8.2.5 Handlungsmetapher*

Im Gegensatz zu der Computer- und der Gehirnmetapher baut die menschliche Kognitionsdynamik auf der Subjekt-Objekt-Struktur kognitiver Systeme auf, was die wichtige Konsequenz nach sich zieht, daß die Dynamik kognitiver Systeme nicht nur als Steuerung oder Regelung, sondern auch als Handlung, das heißt als ein von einem Subjekt zu einem Objekt verlaufender zielgerichteter Prozeß, verstanden werden muß. Man nimmt solch basierte Modelle **Handlungsmetapher**.

Während aber Steuerungs- und Regelungsprozesse noch relativ einfach zu analysieren und zu konstruieren sind, treten bei der Analyse und/oder Konstruktion von Handlungsprozessen sehr

viel komplexere Teilprozesse auf, da eine wichtige Voraussetzung für eine Handlung die Existenz eines **internen kognitiven Modells** ist. Dies wiederum bedingt, daß zumindest zwei Subsysteme existieren müssen, wobei das eine das interne kognitive Modell trägt und das andere durch das Modell repräsentiert wird. Man nennt das Subsystem, das über solch ein geartetes internes kognitives Modell verfügt, das **handelnde System** während man das Subsystem, welches durch das interne Modell repräsentiert wird, das zu **behandelnde System** nennt.

Das handelnde System kann in seinem internen Modell einen Soll-Zustand, quasi das Ziel des handelnden Systems für das zu behandelnde System selbst erzeugen. Ausgehend von diesem Ziel, kann dann eine **Prozedur**, ein **Optimierungsprinzip** den für den Übergang vom Ist-Zustand zum Soll-Zustand nötigen Plan entwerfen und diesen so lange verfolgen, bis der Ist-Zustand dem Soll- Zustand entspricht. Die Heuristik einer solchen Handlungsmetapher ist in ihren Auswirkungen für die Kognitionswissenschaft noch lange nicht ausgelotet, doch sind die ersten Ansätze vielversprechend. In Abbildung 21 ist der Grundaufbau eines kybernetischen Systems, basierend auf der Handlungsmetapher, schematisiert dargestellt.

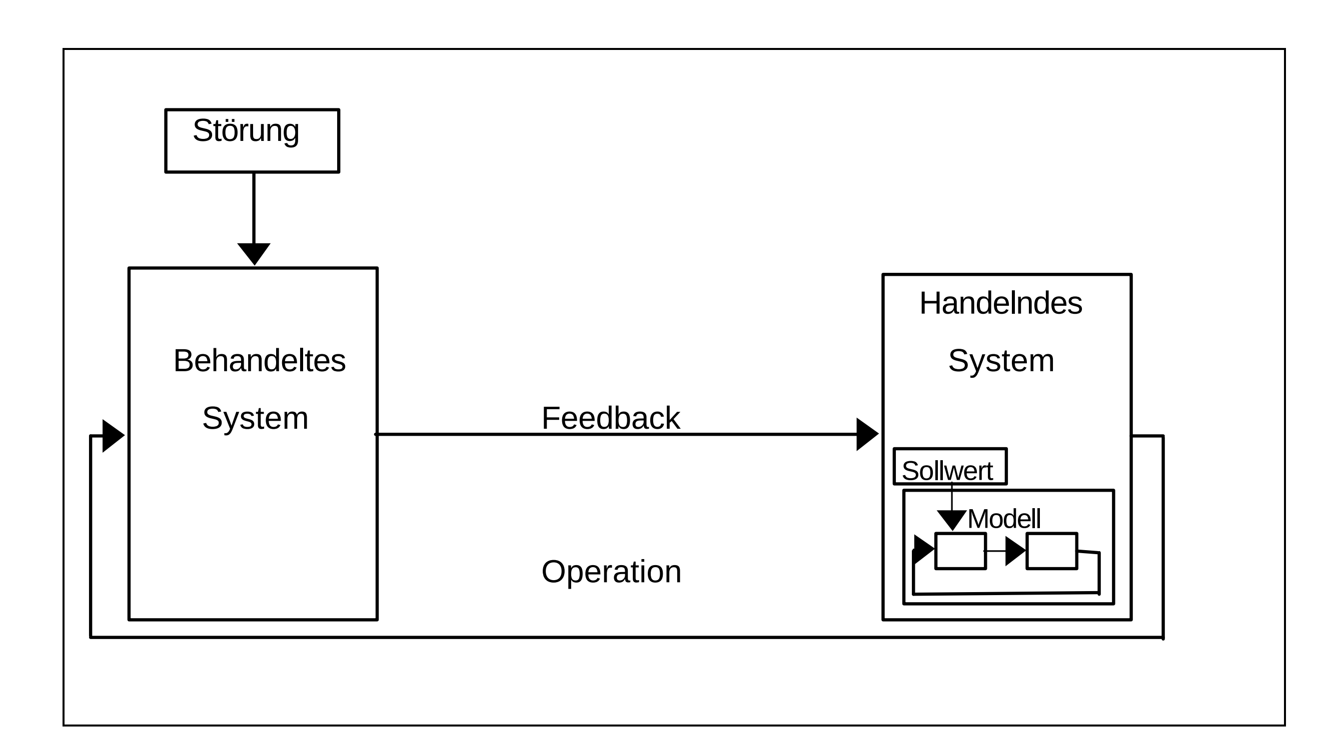



**Abbildung 20-21**: Handlung Kognitiver Systeme

### *20.8.2.6 Konsequenzen der Handlungsmetapher*

Die Handlungsmetapher beschreibt die Informationsverarbeitung zum ersten mal als einen Prozeß, dem ein internes kognitives Modell zugrunde liegt. Um den, mit einer Handlung angestrebten im internen Modell verankerten Zielzustand erreichen zu können, muß ein solches kognitives System sowohl über die Fähigkeit zur sog. **Fremdreferenz** als auch zur sog. **Selbstreferenz** verfügen. Dies liegt darin begründet, daß es die zur Zielerreichung notwendigen Operationen mit Hilfe eines internen kognitiven Modells, das sowohl die Umwelt als auch das System selbst repräsentiert, plant, ausführt und reflektorisch bewertet. Dabei scheint klar, daß die Angepaßtheit von Handlungssystemen an die Umwelt wegen dieser internen Modellierung der Umwelt bedeutend größer sein muß als die von Systemen mit rein (technisch) automatischen Prozessen. Während Steuerungs- und Regelungssysteme nämlich auf jede Präsents einer Sensoreingabe direkt reagieren müssen, können (kognitiv unterlegte) Handlungssysteme ihre Reaktion zunächst auch ohne eine direkte Sensoreingabepräsentation intern vorbereiten, überprüfen und korrigieren, um so zu einer optimalen Reaktion auf eine eventuell eintretende Umweltsituation reagieren zu können. Sie erreichen durch diese Fähigkeit, präkognizierend agieren zu können, eine Art **Zeitungebundenheit** bzw. ein **Planungsvermögen**.

Bedenkt man, daß Menschen oft vor der Notwendigkeit stehen, in einer bestimmten Situation gleichzeitig mehrere Anforderungen an ihr Handeln zu erfüllen, so ist klar, daß solche Situationen des **Mehrfachhandelns** besonders intensive internen Abstimmung zwischen mehreren Handlungsprozessen erfordern. Aus der Verbindung mehrerer Handlungsprozesse resultiert aber ein komplexer Planungsprozeß mit dem Ziel, die beteiligten Handlungssysteme, sprich kognitiven Modelle und deren Aktions- und Realisationsvorgabenverhalten aufeinander abzustimmen. Hierdurch wandelt sich die Analyse kognitiver Prozesse zu einer **Analyse kommunikativer und sozialer Vorgänge**, wodurch die **individuelle Situationsbewältigung** zu einem **kooperativen Problemlösen** erweitert wird. Im Verlauf dieser Evaluationsvorgänge kommt es normalerweise zu einer Einigung der beteiligten Handlungssysteme auf eine **Prioritätenliste** der zu realisierenden Handlungen. Die Grundlage rationaler Entscheidungen basieren dabei auf einer Abwägung der Vor- und Nachteile sowie der Relation der einzusetzenden Mittel zu dem zu erwartenden Nutzen der einzeln möglichen Handlungen.

Der Mensch verfügt über vielerlei Möglichkeiten fragmentarische, mehrdeutige und vage Informationen situationsgerecht so zu verarbeiten, so daß sie sich gegenseitig ergänzen und so

eine sinnvolle Grundlage für seine Handlungen bilden. Diese die menschliche Informationsverarbeitung auszeichnende Effizienz und Robustheit ist vor allem durch die Kooperation der einzelnen Handlungsprozesse zu erklären, die, jeder für sich genommen, wenig zum Erfolg beitragen. Aus diesem Modell heraus kann die heute noch weitgehend ungeklärte Frage, was Bewußtseins ist und wie es entsteht, möglicherweise dahingehend formuliert werden, ob die gegenseitige Kontrolle verschiedener Handlungssysteme schließlich durch Inferenzeffekte zu einer so komplexen Struktur der prozedurevaluierenden Optimierungsprinzipien führt, das ein persönlichkeitstragendes, sprich individuelles, situationsunabhängiges, kognitives Modell sich verselbständigt und sich ständig präsent manifestiert. Bewußtsein würde sich aus diesem Modell heraus also als synergetisch erzeugtes komplexes und selbständiges Optimierungsprinzip darstellen. Eine solche Form des Bewußtseins würde dabei einer optimalen Lösungsstrategie für die aus dem Evolutionsdruck resultierende Aufgabe genügen, so daß besonders schwierige Probleme sich am effizientesten lösen lassen, wenn die Evaluation der adäquatesten Lösungsstrategien von möglichst vielen und linear unabhängigen Kontrollinstanzen, sprich prozedural agierenden, kognitiven Modellinstanzen, vollzogen wird. Aus systematischer Sicht würde sich das Bewußtsein also nicht als die zentrale Kontrollinstanz des menschlichen Geistes darstellen, sondern entspräche mehr einem Produkt besonders intensiver gegenseitiger Kontollprozesse, die von verschiedenen Verarbeitungseinheiten ausgehen bzw. vollzogen werden.

Neben diesen mehr theoretischen Betrachtungen, haben sich durch die modernen Verfahren der Neurowissenschaften aber auch neue experimentelle Möglichkeiten ergeben, die internen Handlungsprozesse im Gehirn zu beobachten. So zeigen, wie besprochen, vor allem die neuen computergestützten Analyseverfahren, daß die Planung und Bewertung von Handlungen vor allem eine Aufgabe des Vorderhirns zu sein scheint, wobei diesen Evaluationen eine enge Interaktion mit den sensorischen und motorischen Systemen zugrunde liegt.

All diese Erkenntnisse können aber nicht darüber hinweg täuschen, daß die Handlungsforschung im Rahmen der Kognitionswissenschaften in Zukunft die externen und internen Beobachtungsverfahren noch stärker miteinander kombinieren muß, um erweiternde Einblicke in die elementaren Prinzipien des Ablauf von Handlungsprozessen und deren Abhängigkeit von der intentionalen Beziehung des Handelnden zu seiner Umwelt zu elaborieren. Im Unterschied zu den eher interpretativ orientierten Methoden der Handlungsforschung kann eine solche Vorgehensweise als **kognitive Handlungsforschung** bezeichnet werden. Derartige integrative Unter-

suchungen sind dabei immer dann möglich, wenn die Versuchspersonen sinnvolle Handlungen planen, realisieren und bewerten können und gleichzeitig ihre neuronalen Vorgänge registriert werden können. Erst durch das Wissen über diese internen Prozesse im handelnden Lebewesen wird es möglich werden, die Kenntnisse (und damit die Umsetzung) bezüglich einer sich am biologischen Vorbild orientierenden Modellierung kognitiver Handlungsstrategien qualitativ zu verbessern.

### 20.8.3 Die Genetik kognitiver Systeme

Neben der Tektonik und der Dynamik ist die (**kognitive**) **Genetik** die dritte grundlegende Komponente zur Beschreibung kognitiver Systeme. Der Begriff der kognitiven Genetik ist dabei deswegen von besonderem Interesse, da er modellhaft zu beschreiben versucht, wie kognitive Systeme mit ihren verschiedenen Prozessen der Informationsverarbeitung sukzessive entstehen. Allgemein bestimmt die Genetik eines kognitiven Systems, wie die Struktur eines neuen kognitiven Systems, welches aus einem alten „Elternsystem" hervorgeht aussehen wird. Ein neues kognitives System liegt dabei bereits dann vor, wenn es sich in einer Komponente, sprich einer Eigenschaft, von dem Ausgangssystem unterscheidet. Die kognitive Genetik muß dabei vor allem berücksichtigen, daß die hinzugewonnenen Eigenschaften sog. **emergenten Eigenschaften** des neuen kognitiven Systems entsprechen, was bedeutet, daß höhere Stufen des Seins durch neu auftauchende Qualitäten aus niederen Stufen entstehen können, sprich **synergetisch bedingte Qualitätserweiterungen** möglich sind. Diese emergenten Eigenschaften erzeugen dann Evolutionsschübe, die sich durch neue Ergebnis- und Übergangsfunktionen und damit durch neue Zustände und Verhaltensweisen des Individuums offenbaren. (Aber Vorsicht !: Der eben definierte systemorientierte Genetikbegriff darf auf gar keinen Fall mit dem biologischen Genetikbegriff verglichen werden, da letzterer ausschließlich einen festumrissenen speziellen Typ der Bildung neuer (organischer) Systeme definiert.)

Um diesen meist recht komplexen Entwicklungsprozeß besser analysieren und beschreiben zu können, werden dabei meist die drei folgenden Aspekte eines sich verändernden kognitiven Systems untersucht:

- die **kognitive Phylogenese:**

sie beschreibt das Auftauchen eines bestimmten Typs von kognitiven Systemen im Verlauf der Evolution, die möglicherweise sehr viel stärker von der Umwelt abhängig war, als dies Darwin vermutet hat,

- die **kognitive Ontogenese:**
  sie bezieht sich auf den Entwicklungsverlauf eines bestimmten kognitiven Systems von seiner Entstehung bis zu seinem Zerfall. Für die menschliche Ontogenese ist die Differenzierung zwischen der **Individuation** einerseits und der **Sozialisation** andererseits relevant, die beide kognitive Ursachen und Auswirkungen haben,

- die **kognitive Aktualgenese:**
  sie beschreibt die Entstehung einer neuen Tektonik durch das Erlernen neuer Fähigkeiten zu einem bestimmten Zeitpunkt in der Ontogenese des kognitiven Systems.

Diese drei „Genetikebenen" sind dabei als hochgradig ineinander verflochten zu betrachten, d.h. sie können nicht getrennt voneinander untersucht werden und stellen nur verschiedene Aspekte der Entwicklung der kognitiven Systeme dar. Da die Phylogenese den natürlichen und durch die Tradition bestimmten Hintergrund der evolutionären Entwicklungsprozesse liefert, sind die Ontogenese und Aktualgenese die eigentlichen relevanten Parameter für die Entwicklung der kognitiven Systeme.

Die Ontogenese stellt dabei einen Schwerpunkt der Sozialwissenschaften dar und soll an dieser Stelle nicht näher erläutert werden. Die Aktualgenese hingegen ist für uns besonders interessant, da in sie auch die Fragestellung, wie computerbasierte Expertensysteme aufgebaut sein sollten mit einfließt. Deshalb soll sie an dieser Stelle näher erläutert werden.

#### *20.8.3.1 Die Aktualgenese*

Wie definiert, versucht die Aktualgenese zu beschreiben, wie ein kognitives System mit unbekannten Informationen umgeht, bzw. diese und die aus ihr resultierenden Konsequenzen in seine Tektonik zu einem bestimmten Zeitpunkt seiner Ontogenese zu integrieren. Das hier die Ontogenese mit einbezogen wurde, soll die Situationsabhängigkeit der Aktualgenese berücksichtigen, d.h. die situationsspezifische Verfügbarkeit der kognitiven Tektonik unterstreichen.

Die aktuelle kognitive Aktualgenese bedeutet im Grunde immer, daß das Individuum vor ein Problem gestellt wird, sein kognitives System also nicht adäquat reagieren kann, sondern auf

seine Mechanismen der **Problemlösung** zurückgreift. Diese basieren, wie wir gesehen haben, meist auf der Modifikation seiner mentalen Modelle bzw. in schwierigeren Fällen auf der Evaluation von neuen kognitiven Modellen, mit deren Hilfe die für die Problemlösung notwendigen Informationen und/oder Handlungsstrategien zur Verfügung gestellt werden sollen (siehe Kapitel Problemlösen). In jedem Fall bedeutet die Aktualgenese kognitiver Systeme aber, daß seine Tektonik durch Lern- oder Versuchsvorgänge verändert wird, wobei zwei Fälle unterschieden werden können: Das Individuum verändert sich auf Grund von äußeren Einflüssen oder auf Grund von inneren Einflüssen, woraus folgt, daß die Realisation der Aktualgenese sich grundsätzlich durch zwei Metaphern beschreiben läßt:

- die **Metapher der Fremdorganisation** und
- die **Metapher der Selbstorganisation**,

die an dieser Stelle streng im Kontext der Computer- und der Gehirnmetapher gesehen werden sollen.

Diese beiden sind für die Genese menschlicher Kognition gleichermaßen relevant und verschmelzen zu einer neuen Geneseform, die meistens als **kooperatives Problemlösen** bezeichnet wird. Wegen der elementaren Rolle dieser Metaphern, sollen diese näher erläutert werden.

#### 20.8.3.1.1 Die Metapher der Fremdorganisation

Für die Entstehung neuer Systeme gibt es verschiedene Ursachen. Ein Ursachentyp umfaßt die Einflüsse von außerhalb der Systeme und wird deshalb **Fremdorganisation** genannt. Fremdorganisierte Systeme können Systeme nahezu beliebiger Tektonik, Dynamik und Genetik sein, vom einfachsten Faustkeil bis zum genmanipulierten Wesen. Beispiele für uns umgebende fremdorganisierte Systeme sind: Haustiere, Gartenpflanzen aber auch Werkzeuge bis hin zum Weltraumsatelliten.

Betrachtet man fremdorganisierte Systeme unter den Aspekten der Computermetapher oder unter den Aspekten der Gehirnmetapher, so ist es möglich, die dort definierten Modellevaluationsverfahren auf die Fremdorganisation anzuwenden und erhält dadurch die **Metapher der Fremdorganisation**. Die Computermetapher wird daher, den vorher eingeführten Modellverfahren folgend, die kognitive Genetik vor allem als Ergebnis einer Fremdorganisation mit geplanter Entwicklung der kognitiven Systeme sehen. Gemäß dieser Metapher definiert man das

sich verändernde System als **Lerner** und das diese Veränderungen beeinflussende System als **Lehrer** (siehe Abbildung 22).

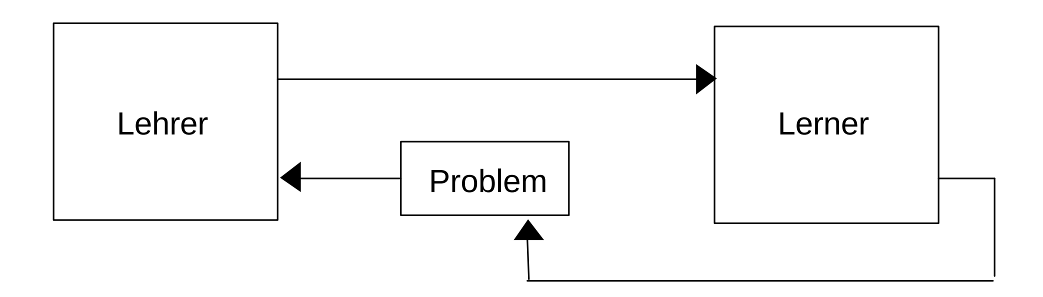



**Abbildung 20-22**: Fremdorganisation Kognitiver Systeme

Die Fremdorganisation kognitiver Systeme umfaßt somit vor allem diejenigen Prozesse, bei denen durch geplante Einwirkung ein neues Verhalten in einem kognitiven System erzeugt wird. Bei Menschen findet dieser Vorgang vor allem im Bildungsbereich, im Werbebereich oder in Therapien statt, da diese Form der kognitiven Genese im Laufe der Sozialisation des Menschen immer schon die vorherrschende Vorgehensweise war, um Veränderungen im menschlichen Verhalten zu bedingen.

#### 20.8.3.1.2 Konsequenzen der Metapher der Fremdorganisation

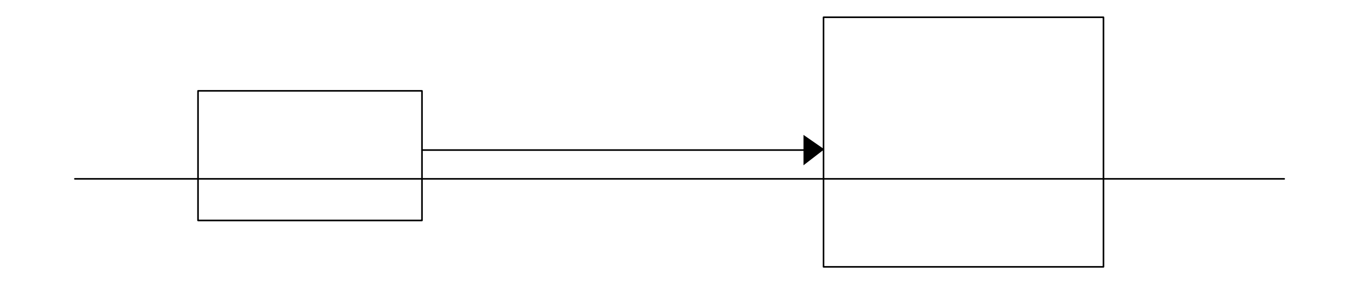
Obwohl die Fremdorganisation geplant und durchgeführt wird, werden in den meisten Fällen ihre Neben, Rück- und Spätwirkungen zu wenig reflektiert, meist weil die das Wesen der zu erreichenden Zielperson oder Zielgruppe zu wenig bekannt ist, oder andere bestimmende Parameter der zu ändernden kognitiven Systeme nicht berücksichtigt werden. Bestes Beispiel für eine meist undurchdachte und nicht aktualisierte Fremdorganisation ist die immerwährende Krise schulischer Didaktik. Wahrscheinlich bedingt durch eine unterschiedliche kognitive Ontogenese der Lehrer und Lerner entartet die Fremdorganisation nicht selten zum puren Zwang zur Bildung neuer Verhaltensmusters bzw. zur Bildung neuer kognitiver Modelle. Meist wird deshalb die nichtvorhandene Motivation zur Organisation eines neuen Verhaltens, sprich zur Überwindung der verschiedenen kognitiven Biase in Form von Belohnungs- oder Bestrafungsmaßregeln künstlich geschaffen (**extrinsisches Lernen**).

Eine weitere Gefahr der fremdorganisierten Genese ist die Manipulation von kognitiven Systemen, wobei die zu manipulierenden Systeme sich oft gar nicht darüber bewußt sind, daß sie

momentane Lerner sind. Die angestrebten Veränderungsprozesse werden dabei meist von sich nicht als Lehrer offenbarenden externen Instanzen geplant und durchgeführt, wobei die Arten und Kommunikationskanäle dieser Gruppen unterschiedlichster Art sein können. Hauptziel all dieser Lehrer ist es aber, die Lerner durch unvollständige oder aber bewußt irreführende Informationen zugunsten einer bestimmten Verhaltensweise bzw. Verhaltensänderung zu beeinflussen.

#### 20.8.3.1.3 Die Metapher der Selbstorganisation

Jeglicher Einfluß auf ein kognitives System, der einen Problemzustand erzeugt bedingt, daß sich dieses durch Selbstorganisation umgestaltet. Die Selbstorganisation kann damit als der grundlegende Prozeß der natürlichen Veränderungen von Organismen angesehen werden. Wir hatten ja gesehen, daß vor allem der Prozeß des Lernens einer, die Struktur des Gehirns verändernden Selbstorganisation entspricht, die nur durch massive Eingriffe in den Stoffwechsel des jeweiligen Individuums manipuliert werden kann. Man kann also sagen, daß eine Selbstorganisation immer dann vorliegt, wenn das neue kognitive System ohne wesentliche Einwirkung durch ein anderes System zustande gekommen ist. (Dies hat natürlich zur Konsequenz, daß wir zeitlebens von einem kognitiven System zum nächsten kognitiven System mutieren.) Da fast alle in der Natur vorkommenden konkreten Systeme immer auch offene Systeme sind, d.h. laufend irgendwelchen Umwelteinflüssen ausgesetzt sind, ist die Grenze, ab der von einer eigentlichen Selbstorganisation des jeweiligen Systems gesprochen werden kann, nicht immer eindeutig festzulegen. Unter dem Gesichtspunkt der Kognition kann aber immer dann von einer Selbstorganisation gesprochen werden, wenn das kognitive System ohne direkte Einwirkung von außen emergente kognitive Fähigkeiten entwickelt, die es bis dahin noch nicht besessen hat. Voraussetzung einer solch strukturierten emergenten Veränderung ist, daß das kognitive System sich (in welcher Art auch immer) eines zu lösenden Problems bewußt wird, bzw. ihm in geeigneter Art und Weise, wie z.B. in Abbildung 23 gezeigt, konfrontiert ist. Erst durch den sich so ergebenden Zwang zur Umstrukturierung (zur Lösung des momentanen Problems) werden die natürlichen Lern- und Verhaltensbiase überwindbar und es setzt eine interne Problemverarbeitungsstrategie ein, die zu einer neuen Selbstorganisation des Systems führt.



Problem Lerner

**Abbildung 20-23**: Zur Selbstorganisation Kognitiver Systeme

Das Prinzip der Selbstorganisation ist dabei aber nicht nur auf kognitive Systeme beschränkt, sondern entspricht dem generellen Prinzip des Wandels, welches der Evolution in physikalischer, chemischer und biologischer Hinsicht zugrunde liegt. Die Prozesse der Selbstorganisation können dabei als Regelvorgänge verstanden werden, bei denen der Sollwert nicht ad hoc vorgegeben ist, sondern erst durch die Interaktion der beteiligten Subsysteme in Selbstorganisation mehr oder minder schnell und effektiv evaluiert wird.

#### 20.8.3.1.4 Konsequenzen der Metapher der Selbstorganisation

Die elementare Frage, auf welche Art und Weise sich kognitive Einheiten in kognitiven Systemen selbst organisieren bzw. welche grundlegenden Prozesse dieser Selbstorganisation zugrunde liegen ist noch weitgehend unbeantwortet. Dies liegt zum einen an der enormen Komplexität der zu betrachtenden Phänomene und zum anderen an der noch zu wenig ausgearbeiteten Konzeptualisierung dieses Bereichs.

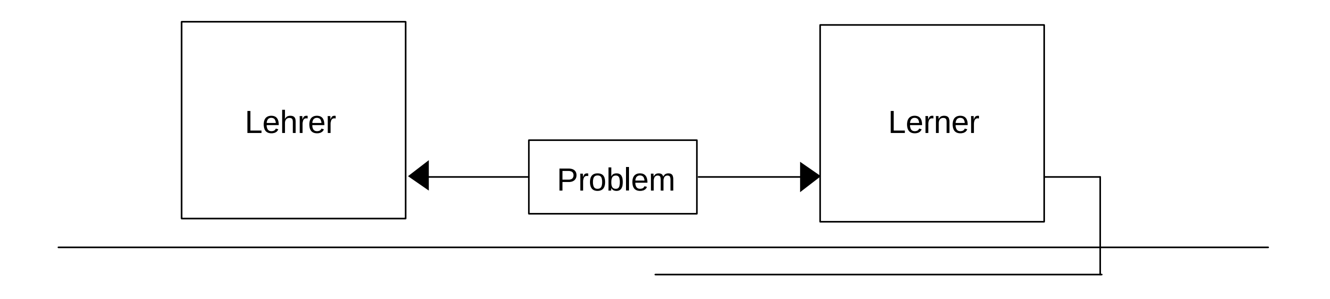
Klar scheint nur, daß man eine geeignete Struktur für das allen Umorganisationsformen zugrundeliegende (und sie damit steuernde) Optimierungsprinzip der Strukturkomponente Bewußtsein definieren muß, die so gestaltet ist, daß die kognitiven Prozesse aus ihr (als Konsequenz ihrerselbst) induziert werden. Die Definition adäquater Strukturen ist bis heute noch nicht gelungen, jedoch gibt es zwei erwähnenswerte Ansätze: So geht die sog. **konstruktivistische Auffassung** davon aus, daß alle kognitiven Prozesse durch das Streben des zentralen Nervensystems nach einem Zustand der Homöostase (Gleichgewicht der physiologischen Körperfunktionen) bestimmt sind, während im Rahmen der Gehirnmetapher die Entstehung der Kognition in Analogie zu internen Selbstorganisationsvorgängen in Lebewesen konzipiert wird. Danach würde es sich bei allen kognitiven Systemen um sog. **autopoietische** (**selbstbildende**) **Systeme** handeln, die die Informationen der Umwelt nicht im Sinne einer Steuerungsanweisung verarbeiten, sondern

diese lediglich dazu verwenden, um das Nervensystem als Träger der kognitiven Prozesse zu eigenständigen Prozessen der Selbstorganisation anzustoßen. Während das erste Modell des Optimierungsprinzips also mehr das Materielle in den Vordergrund stellt, stellt das zweite Modell mehr das geistig Organisatorische in den Vordergrund. Der alte Leib-Seele-Dualismus manifestiert sich auch hier als Folge einer nicht existenten Definition von Bewußtsein.

Eine andere Konsequenz aus der Metapher der Selbstorganisation ist das **Konzept der strukturellen Kopplung**, daß die in vielen Fällen äußerst weitreichende Übereinstimmung zwischen den Lebewesen und ihrer Umwelt zu erklären versucht. Nach diesem Konzept existieren strukturelle Kopplungen zwischen den autopoietischen Systemen und der Umwelt, d.h. die Umwelt des Systems wirkt auf die sich in dem System abspielenden Veränderungen in selektiver Weise ein, indem sie bestimmte Resultate der Selbstorganisation favorisiert und andere ablehnt. Das Konzept der strukturellen Kopplung beinhaltet somit aber gerade die Analogie zur biologischen Evolution mit ihren Phasen der Genmutation und Selektion durch die Umwelt.

#### 20.8.3.1.5 Die Metapher des kooperativen Problemlösens

Sowohl die Fremdorganisation als auch die Selbstorganisation beschreiben, wie eben gesehen, die Dynamik menschlicher kognitiver Systeme. Versucht deshalb beide zu koppeln, schon um die Vorteile der Fremdorganisation mit denen der Selbstorganisation zu verbinden, so würde unter der Maßgabe, daß der Lehrer und Lerner gleichberechtigt, gleichmotiviert und gleichzeitig existent sind, eine fremdorganisierte Genese entstehen, die weitgehend den Prozessen der Selbstorganisation genügt. Diese Genese hätte den Vorteil, daß aus einer solchen Verbindung ein Typ der gemeinsamen Förderung von Geneseprozessen entsteht, in dem Lerner und Lehrer als Partner zusammenwirken, um gemeinsam die Organisation neuer kognitiver Modelle beim Lerner zu erreichen. In diesem Fall bilden die Partner also ein kooperatives Problemlösesystem, in dem von allen Beteiligten neue Formen der Kognition erprobt und entwickelt werden können, weshalb man von der **Metapher des kooperativen Problemlösens** spricht, dessen prinzipielle Struktur in Abbildung 24 aufgezeigt ist.



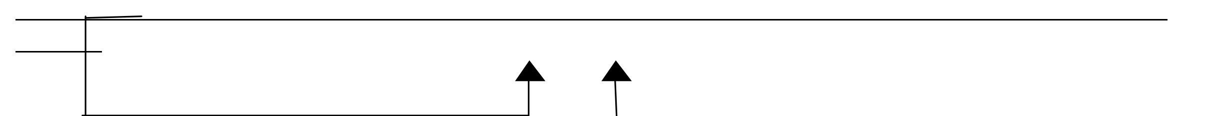


**Abbildung 20-24**: Das kooperative Problemlösen kognitiver Systeme

Zum erstenmal steht bei dieser Metapher ein Verbund im Mittelpunkt, der im konstruktiven Disput sich um ein Problem kümmert bzw. die adäquateste Problemlösung zu evaluieren versucht. In diesem Modell ist es denn auch nicht mehr primär die Umwelt, wie bei der Fremdorganisation, oder primär der kognitive Prozessor, wie bei der Selbstorganisation, sondern ist es der kooperative kognitive Prozessor, bestehend aus dem Lehrer und Lerner zusammen mit ihrer Umwelt, der die für die Genetik relevante Einheit bildet. Ob der Lehrer und Lerner dabei existentiell getrennt sind oder durch kognitive Modelle/autopoietische Systeme repräsentiert werden, ist dabei ad hoc in dem vorliegenden Modell nicht festgelegt, was in Folge den inneren Disput des Menschen mit in ihm innewohnenden Repräsentanten auch als Akt des kooperativen Problemlösens ermöglicht. Das kooperative Problemlösen als Kombination der Selbstorganisation und der Fremdorganisation des menschlichen kognitiven Systems als durch das innere Selbstgespräch erzeugt zu verstehen ist dabei nicht neu, sondern wurde schon von Aristoteles als Akt des Denkens definiert und auch die Ansichten von Descartes und Freud basieren im Grunde genommen auf dieser Metapher, setzen beide doch den inneren Disput zumindest zweier personalisierter autopoietischer Systeme als Denkgrundlage voraus.

#### 20.8.3.1.6 Konsequenzen der Metapher des kooperativen Problemlösens

Die Konzeptualisierung des Agierens kognitiver Systeme in Begriffen des kooperativen Problemlösens, sprich die Theoriebildung der kognitiven Genetik auf der Basis des kooperativen Problemlösens bedingt, daß die menschliche Kognition auf einmal als Teil eines übergeordneten Sozialsystems gesehen wird, also der Bereich der Individualkognition verlassen wird. Daraus folgt, daß kognitives Agieren einerseits gesellschaftlicher Probleme bewältigt - andererseits sich aber als Ergebnis der diversen gesellschaftlichen Rahmenbedingungen und derer sozialer Einflüsse manifestiert.

Diese Abhängigkeit bedingt, daß die für die Erforschung des kooperativen Problemlösens relevante formale Methologie sich zum einen auf Systeme, deren Komponenten eine gewisse Aufgabenverteilung aufweisen, beziehen muß zum anderen aber bestimmte Teilprozesse des kooperativen Problemlösens detailliert simuliert werden müssen. Während der erste Teil dieser Me-

thologie durch die Verfahren der sog. **verteilten künstlichen Intelligenz** abgedeckt wird, deren Ziel es ist, Prozesse der Arbeitsverteilung bei der Bewältigung komplexer Aufgaben zu analysieren, entspricht der zweite Teil dieser Methologie den Verfahren der **situierten Kommunikatoren**, die in Interaktion mit einem Partnersystem gewisse Probleme zu bewältigen versuchen, indem sie sprachliche Instruktionen, die von Menschen gegeben werden, in kognitiv adäquater Weise ausführen.

Einen in diesen Bereich fallenden gut erforschten Problemkreis stellen die künstlichen kognitiven Systeme dar, die Menschen Informationen übermitteln, sprich sich mit der Mensch-Maschine-Interaktion bzw. Mensch-Maschine-Kommunikation beschäftigen. Stellvertretend für sie sollen hier die intelligenten tutoriellen Systeme sowie die Systeme der Hypertext-Technologie aufgeführt werden, die ein teilweise recht hohes kognitives Niveaus aufweisen, sprich den sog. Usern einen Dialog unterbreiten, der zum Erkennen eines Informationsdefizietes und zur kooperativen Behebung dieses Defizites führen kann.

Der Vollzug einer Aktualgenese bedingt, daß das kognitive System neue Informationen speichern und in seine Tektonik integrieren kann, sprich einen Chunkingvorgang vollziehen kann. Auf welche Weise neue Informationen in eine bereits vorhandene Wissensstruktur eines kognitiven Systems integriert werden soll, ist damit aber mit eine der Schlüsselfragen jeglicher künstlicher kognitiven Systeme. Im Folgenden sollen daher die Lern- und Gedächtnisstrukturen aus der Sicht der künstlichen kognitiven Systeme noch einmal beleuchtet werden.

### 20.8.4 Das maschinelle Lernen

Allgemein gilt, daß mit Hilfe einer Gedächtnisstruktur jegliche kognitive Systeme neue Wissensstrukturen und -funktionen ausbilden können, die eine Veränderung ihrer Ergebnis- und Übergangsfunktionen zur Folge haben. Diesen Vorgang der Änderung ihrer Tektonik und Dynamik nennt man **Lernen** bzw. **Lernprozeß**. Die Lernprozesse sind daher ein zentraler Teil sowohl ihrer Aktual- als auch ihrer Ontogenese, das heißt ihrer aktuellen und längerfristigen Entwicklungsprozesse. Insbesondere für den Menschen sind deshalb das Lernen und das mit Hilfe des Lernens aufgebaute Wissen eine notwendige Bedingung seiner Existenz und seiner Adaptionsfähigkeit an sich verändernde Gegebenheiten seiner Umwelt.

Das selbe gilt natürlich für alle modernen künstlichen kognitive Systeme, da die ihnen unterlegte Problemstellung meist so komplex ist, daß eine deterministische Beschreibung des zu klassifizierenden oder zu steuernden Systems nicht „einprogrammiert" werden kann. Die Strategie, die es künstlichen kognitiven Systemen erlaubt, sich adaptiv an eine optimale Systemerkennung oder Systemsteuerung ranzutasten nennt man **maschinelles Lernen**. Dieses maschinelle Lernen darf sich aber nicht nur auf **konzeptuelle** und **motorische Fähigkeiten** erstrecken, sondern muß auch **sensorische** und **perzeptuelle** (sinnliche Wahrnehmung als erste Stufe der Erkenntnis) **Fähigkeiten** beinhalten, wobei bei der technischen Realisierung zudem die Prämisse, mit möglichst geringem Aufwand einen möglichst großen Lernfortschritt zu erreichen berücksichtigt werden muß.

Gemäß der eben gemachten Notation unterscheidet man zwei verschiedene Arten des Lernens,

- das **rezeptionsbezogene Lernen**
  das die Veränderungsprozesse im sensorischen, syntaktischen, semantischen und pragmatischen Bereich der kognitiven Rezeption beinhaltet und das dadurch erreicht wird, daß sich die verschiedenen an diesen Prozessen beteiligten Übergangsfunktionen verändern und
- das **modellbezogene Lernen**
  das sich durch die Existenz einer Handlungskompetenz auszeichnet, mit der ein Lernen ermöglicht wird.

Beim rezeptionsbezogenen Lernen steht also die Interaktion mit der Ergebnisfunktion und dem externen Verhalten des kognitiven Systems im Vordergrund, weshalb lernende Rezeptionssysteme in der Lage sind, raumzeitliche Zuordnungen verschiedener Inputs vorzunehmen. Auch die Häufigkeit des Inputs kann dabei von ihnen gespeichert werden. Ein damit verbundener einfacher Lerntyp ist die **Habituation**. Ein einfaches Zuordnungslernen ist Lernen durch Assoziation, eine komplexere Form der Klassifikation.

Beim modellbezogenen Lernen ist das System hingegen nicht mehr auf eine sofortige, direkte Interaktion mit der möglicherweise gefährlichen Umwelt angewiesen, da es neben der Möglichkeit des externen auch die Möglichkeit des internen Tests (sprich des internen Probehandelns) gibt. Wie schon besprochen ermöglicht das modellbezogene Lernen daher, erst dann eine ausgewählte Planung auf die Umwelt anzuwenden, wenn in der Simulation des kognitiven Modells eine ausreichende Verringerung der Soll-Ist-Differenz zu erkennen ist. Da beim modellbezogenen Lernen auch eventuell vorhandene Ähnlichkeiten und Analogien zwischen dem bereits vor-

handenen Wissen und dem neuen Lerngegenstand genutzt werden können, spricht man auch vom **Lernen durch Einsicht**. Modellorientiertes Lernen umfaßt dabei sehr unterschiedliche Möglichkeiten des Lernens: das **Lernen durch Imitation**, das **Lernen durch Instruktion** sowie das **Lernen durch Modellierung**.

## *20.9 Das menschliche Verhalten aus der Sicht der künstlichen kognitiven Systeme*

In den letzten Jahren hat man versucht, daß menschliche Verhalten und hier vor allem sein Agieren unter Streß an Hand der künstlichen kognitiven Systeme zu beschreiben und zu verstehen. Aus der Unzahl von verschiedenen Modellen sollen an dieser Stelle zwei näher betrachtet werden, da sie das menschliche Entscheidungs- und Aktionsverhalten ingenieursmäßig zu fassen versuchen.

### 20.9.1 Das Rasmussen-Modell

Das bekannteste und am meisten studierte Modell menschlicher Entscheidungs- und Aktionsschema ist das sogenannte **Rasmussen-Modell**, wonach sich die Kontroll- und Steuerungstätigkeit eines Menschen auf den drei Ebenen

- **senso-motorische Ebene**
- **Regel-Ebene**
- **Wissens-Ebene**

bewegt.

Diese drei Ebenen unterscheiden sich dabei hauptsächlich hinsichtlich ihrer kognitiven Anforderungen und berücksichtigen so die nötigen kognitiven Ressourcen, die zur Lösung eines Problems eingesetzt werden müssen. So laufen auf der **senso-motorischen Ebene** die Aktionen weitgehend unbewußt und automatisch ab. Es handelt sich hierbei um Verhaltensmuster für die Handhabung unproblematischer, gewohnter Zustände und Abläufe. Als Beispielhandlung kann dabei die Richtungskorrektur beim Führen eines Fahrzeugs angegeben werden.

Auf der **Regel-Ebene** hingegen werden Abweichungen im normalen Ablauf eines Vorgangs oder einer Handlung registriert und korrigiert. Vom Menschen werden gespeicherte Prozeduren, Kontroll- und Steuerregeln zur Korrektur der bemerkten Abweichung herangezogen, wobei die Lösung des Problems ist dem Menschen bekannt ist. Als Beispiel einer regelbasierten Handlung kann das richtige Reagieren auf eine Warnlampe aufgeführt werden.

Auf der **Wissens-Ebene** reichen schließlich weder das Routinewissen noch der Abruf verfügbarer Kontroll- und Steuerungsregeln zur Bewältigung des Problems aus. An dieser Stelle setzt der eigentliche kognitive Problemlösungsmechanismus ein, bei dem es auf die Übereinstimmung des mentalen Modells des Systems mit dem tatsächlichen System ankommt, d.h. der Mensch wendet das von ihm erworbene Wissen und technische Verständnis an. Als Beispiel sei das Suchen eines Fehlers, in einer Maschine, die aufgrund eines unbekannten Defektes stehengeblieben ist aufgeführt.

Gemäß der verschiedenen Metaphern kann man nun zwischen diesen Ebenen Aktionen und Verarbeitungsstati definieren und gelangt so zu einem kybernetischen Handlungsschema, wie in Abbildung 25 angegeben.

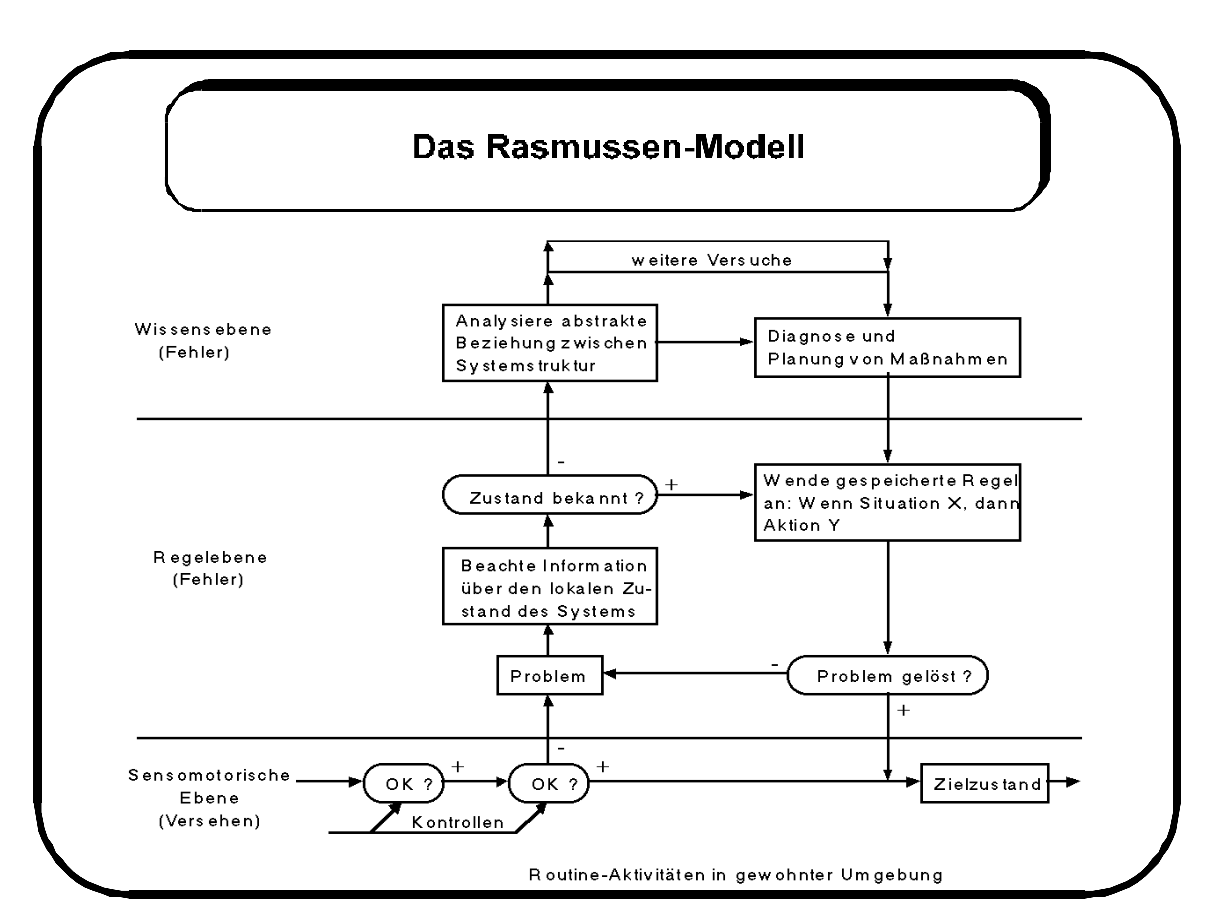



**Abbildung 20-25: Rassmussen-Model**

Wie man sieht, ist das Rasmussen-Modell zwar recht komplex, berücksichtigt aber die verschiedenen im kognitiven Aktionsverhalten vorhandenen Bias-Funktionen nicht.

### 20.9.2 Erweiterung des Rasmussen-Modells durch Reason

Reason erweiterte deshalb das Rasmussen-Modell in dem er als erstes zwischen zwei verschiedenen Arten von Irrtümern unterschied:

- **slips**
  die Operationen entsprechen, die versehentlich, meist aus Unachtsamkeit, ausgeführt werden (z.B. dem Wählen einer falschen Telefonnummer) und den
- **mistakes**
  die echten menschlichen Fehler entsprechen, also aufgrund einer falschen subjektiven Einschätzung der Situation entstehen (z.B. Mit Wasser brennendes Fett in einer Pfanne löschen wollen („Jede Flüssigkeit löscht einen Brand.“).

Während man slips der senso-motorischen Ebene zuordnet, werden mistakes der regel- und wissensbasierten Ebene einer Kontroll- und Steueraktivität zugeordnet.

Slips werden vom Menschen meistens schnell erkannt und korrigiert. Anders sieht es bei Mistakes aus, da diesen falsche Absichten und Ziele zu Grunde liegen. Trotz einer richtigen Klassifikation und Identifikation von Systemsollabweichungen werden Lösungen gewählt und durchgeführt, so daß das zu steuernde System noch weiter aus dem Gleichgewicht gebracht wird.

Diese Fehlermöglichkeiten führt Reason auf grundlegende Verarbeitungseigenarten des menschlichen Gehirns zurück, die auf der **Aktivierungsschwelle der Aufmerksamkeit** des Menschen beruhen. Danach beginnt der Mensch erst dann zu handeln, wenn diese Aktivierungsschwelle überschritten ist. Reason hat dabei drei verschiedene Arten dieser Aktivierungsschwelle, **Biase** genannt, gefunden, die da sind:

- „**similarity bias**“
  sie entspricht der grundlegenden Tendenz, wahrgenommene Zustände auf Ähnlichkeit zu prüfen, um dann vertraute Konfigurationen und damit verbundene Prozeduren aufzurufen.
- „**frequency bias**“
  sie entspricht der Tendenz, häufig erlebte und leicht aktivierbare Ereignisse bevorzugt an aktuelle Zustände heranzutragen und häufig durchgeführte Prozeduren immer wieder einzusetzen.
- „**confirmation bias**“
  sie entspricht der Tendenz zur Vernachlässigung und Uminterpretation diskrepanter Information, zur Bestätigung und Sicherung der eigenen Sichtweise und Aktivität.

Aus diesen Fehlermöglichkeiten schließt Reason auf eine grundlegende Verarbeitungseigenart des menschlichen Informationssystems, die er unter dem Sammelbegriff der **kognitiven Hysterese** zusammenfaßt. Diese kognitive Hysterese soll dabei das Festhalten an Sichtweisen und Operationen über einen Zeitpunkt hinaus, an dem widersprechende Informationen verfügbar und

zu beachten sind beschreiben. Sie entspricht damit aber gerade einer simplifizierten Darstellung der in Kapitel 5.6 definierten Problemlösestrategien.

### *20.10 Kognitionswissenschaften und Technik*

In den letzten Kapiteln haben wir die grundlegenden Theorien der Kognitionswissenschaften bezüglich des Denkverhaltens kennengelernt und haben damit die wissenschaftlichen Grundlagen für einen verbesserten, „artgerechteren“ Dialog zwischen dem Menschen und den von ihm entworfenen Maschinen erarbeitet. Im Folgenden soll daher an Hand mehrerer akuter Problematiken gezeigt werden, wie aus den Erkenntnissen der Kognitionswissenschaften optimalere Gestaltungs- und Bedienvorschriften für technische Systeme abgeleitet werden können. Die technische Anwendung der kognitionswissenschaftlichen Erkenntnisse wird dabei vor allem auf dem Gebiet der Mensch-Maschine-Kommunikation vollzogen, die im folgenden definiert werden soll.

Ein uns hier besonders interessierendes Teilgebiet der Kognitionsforschung ist die ingenieurpsychologische Forschung, in der die Prinzipien der sogenannten Mensch-Maschine-Kommunikation untersucht werden, also des Menschens Umgang mit den von ihm kreierten Maschinen jedwelcher Art. Das diese Kommunikation nicht immer trivial oder selbstredend ist weiß jeder, der einmal versucht hat, ein modernes elektronisches Gerät ohne Betriebsanleitung in den gewünschten Betriebsmodus zu versetzen. Aber auch alte, rein mechanische Maschinen sind oft nur nach längerem Studium ihrer Bauteile und oft nur unter Einbeziehung der ihnen zu Grunde liegenden Prozesse zu verstehen und - wenn man ihre spezielle Steuerungsmechanik auch noch verstanden hat - zu bedienen.

Fast alle Maschinen weisen heute eine Steuerungstechnik auf, die vom Anwender erlernt werden muß. Unabhängig von den dem Menschen bereitgestellten Zustandsdaten des Systems, scheint dabei die Bedienung um so schwieriger zu sein, je komplexer das System ist. Erst mit dem wachsenden Verständnis, was, wie und warum mit dem System geschieht, wenn auf eine bestimmte Art und Weise in den Systemprozeß eingegriffen wird, wächst langsam die Bedienbarkeit.

Dies hängt damit zusammen, daß der Mensch Sachverhalte und Ereignisse der Umwelt symbolhaft oder „ikonisiert“ intern abbildet, wobei die Symbolisierung ein und des selben technischen Prozesses individuell verschieden sein kann. Das heißt, je nachdem welcher individuellen Vorstellung die erfaßte Realität entspricht, sprich je nachdem welches mentale Modell der Mensch von einem Sinneseindruck evaluiert, wird ein Mensch agieren. Die Merkmale und Beschaffenheit des mentalen Modells bedingen somit das Verständnis der Zusammenhänge eines real existierenden Systems oder eines realen oder geistigen Sachverhaltes und bilden somit die Grundlage für das körperliche und geistige Agieren eines Individuums. Ziel, speziell der inge-

nieurpsychologischen Forschung, ist es nun, die Unzulänglichkeiten und Grenzen der menschlichen Kontroll- und Steuerentscheidung von technischen Systemen aufzuzeigen, um so durch menschliche Fehler und Irrtümer verursachte Unglücks- und Störfälle zu vermeiden.

Die folgenden Zahlen sollen die Bedeutung derartiger Untersuchungen gerade in unserer hoch technisierten Welt veranschaulichen:

- 68% aller Flugzeugunfälle sind auf das Versagen der Crew im Cockpit zurückzuführen.
- 89% aller Schiffsunglücke begründen sich auf menschlichem Versagen.
- 48% aller Störfälle in Atomkraftwerken liegen menschliche Fehlentscheidungen zugrunde.
- 98% aller Straßenverkehrsunfällen sind nicht auf technische Mängel zurückzuführen.

Diese Zahlen belegen eindrucksvoll, daß der Mensch mit der ihm anvertrauten Technik oft nicht umzugehen vermag. Wie aber die Statistik zeigt, ist nicht immer der Mensch bzw. seine Entscheidungsfindung das eigentlich schwache Glied in dieser fatalen Kette, sondern oft werden dem Menschen von der Maschine die sie beschreibenden Daten und Fakten in einer Art und Weise dargeboten, die für ihn nicht, fehlerhaft oder nur unter Einbeziehung höchster Konzentration interpretierbar sind. Die Evaluation einer „artgerechten unmißverständlichen Mensch-Maschine-Kommunikation" unter Einbeziehung der dem Menschen zu eigen seienden Problem- und Fehlermechanismen ist daher das eigentliche Ziel der ingenieurpsychologischen Forschung.

Natürlich ist dieses Ziel nur dann zu erreichen, wenn man neben den physiologischen und ergonomischen Grundlagen des menschlichen Informationsverarbeitungsvermögens auch die kognitiven Grundlagen des menschlichen Agierens (zu mindest in Umrissen) kennt. Im folgenden Kapitel werden daher die grundlegenden Begriffe der Kognitionswissenschaften erläutert, aus denen dann Richtlinien und Empfehlungen für die Gestaltung effizienter und bediensicherer Mensch-Maschine-Schnittstellen abgeleitet werden.

### 20.10.1 Der Begriff der Mensch-Maschine-Kommunikation

Unter dem Begriff **der Mensch-Maschine-Kommunikation**, **MMK**, versteht man i.A. alle Maßnahmen, Methoden und Werkzeuge, die zur Führung/Steuerung von Maschinen und technischen Prozessen durch menschliches Handeln dienen. Vergegenwärtigt man sich, wie viele klassischen naturwissenschaftlichen Gebiete bei einem solchen Kommunikationsakt zwischen einem Menschen und einer Maschine in Betracht zu ziehen sind (siehe Abbildung 5-25), so wundert es einem nicht, daß trotz ausgefeilter Bedienungsanleitungen und modernsten interak-

tiven Benutzerdialogen, so viele Hersteller und Ingenieure ihr Ziel, eine menschengerechte Bedienführung zu realisieren, weit verfehlen und warum erst an dieser Stelle auf dieses Thema weiter eingegangen werden kann.

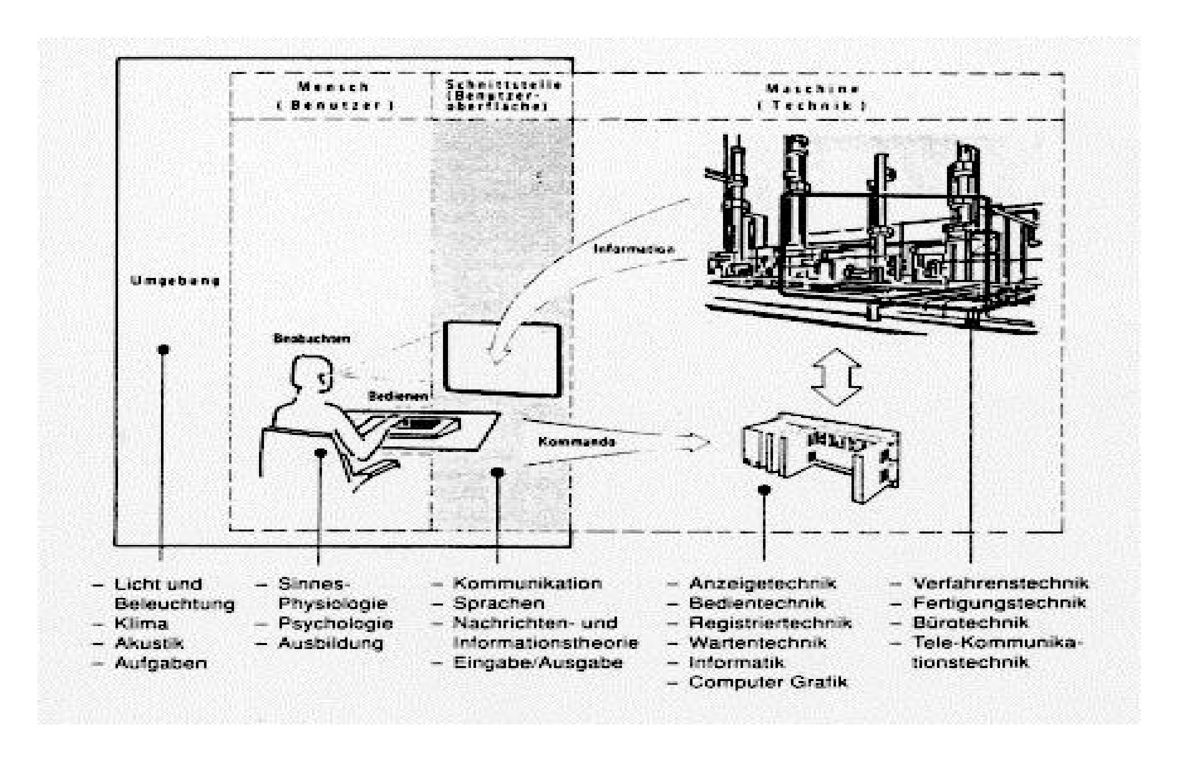



**Abbildung 20-26**: Einige Parameter der Mensch-Maschine-Kommunikation

Gemäß der kognitionswissenschaftlichen Notationen, kann man eine Mensch-Maschine-Kommunikation auch als ein interagierendes Mensch-Maschine-System auffassen, daß die in Abbildung 27 gezeigte Gestalt hat.

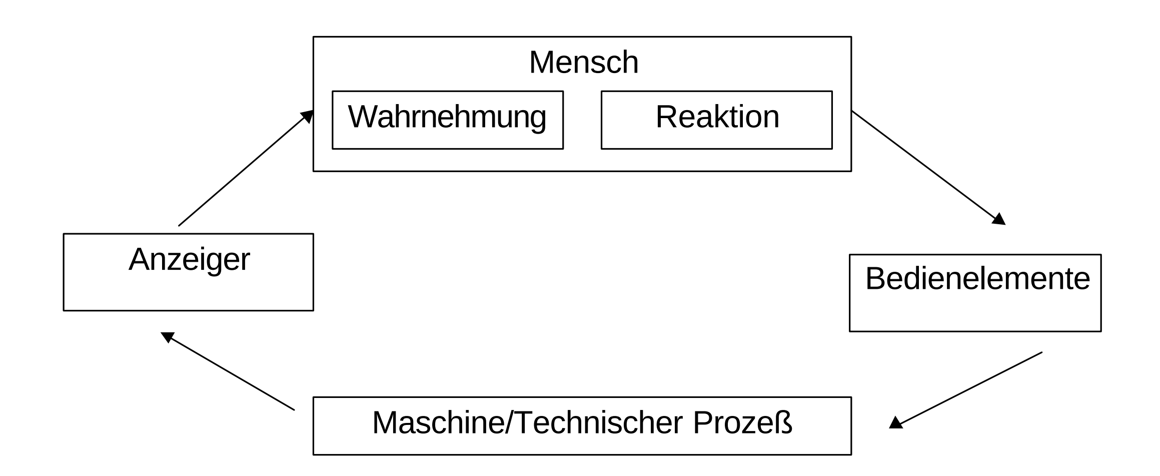



**Abbildung 20-27**.: Das Mensch-Maschine-System

Daraus folgt aber, daß die Wechselwirkung zwischen Maschine und Mensch beschrieben durch das MMS, einem Akt in dem der Mensch gemeinsam mit Maschine(n) ein bestimmtes Ziel verfolgt entspricht. Die dazu insgesamt notwendigen Funktionen sind daher im Rahmen **systemergonomischer Gestaltung** dem Menschen bzw. der Maschine zuzuordnen /2/.

#### *20.10.1.1 Einflußfaktoren und Aufgaben/Funktionen des Mensch-Maschine-Systems*

Die **Einflußfaktoren** auf das MMS sind die Größen, die sich auf die Funktionen von Mensch-Maschine-Systemen auswirken und deshalb bei deren Gestaltung zu berücksichtigen sind.

Diese Faktoren können in die folgenden Klassen unterteilt werden:

- **subjektbezogene Faktoren**, meist als „**Humanfaktoren**“ bezeichnet
  Sie gehen auf die Eigenschaften, Fähigkeiten, Möglichkeiten und Bedürfnisse der Benutzer zurück, die
- **objektbezogene Faktoren**
  die sich an der Maschine ermitteln lassen.(z.B. Einstellfunktionen, Möglichkeiten und Eigenschaften die Maschine betreffender Faktoren) und die
- **Umgebungseinflüße**
  die die Umweltfaktoren wie Beleuchtung, Klima, Lärm /3/ beschreiben.

Die Aufgaben oder Funktionen der Mensch-Maschine-Schnittstelle kann man in die vier Bereiche:

- Erkennung,
- Simulation,
- Darstellung und
- Interaktion

unterteilen, wobei diese wie folgt beschrieben werden können:

Die **Erkennung** (**Mustererkennung**) wird angewandt, um Prozesse zu überwachen und zu steuern. Sie ist ein Verfahren, das eine Menge von Daten nach bestimmten Merkmalen

analysieren, klassifizieren und extrahieren kann, um ein wiederkehrendes Schema zu finden. Um die Ergebnisse der Mustererkennung zu verbessern, wird die Methode der künstlichen Intelligenz, insbesondere neuronale Netze, angewandt. /4/

Die **Simulation** wird angewandt, um das dynamische Verhalten von Systemen kennenzulernen. An einer Benutzeroberfläche werden wechselnde Situationen durch sich ändernde Werte oder Zustände dargeboten. Der Benutzer kann in die Simulation eingreifen und so die Reaktion des Systems unter verschiedensten Parametern erfahren. Die Simulation ermöglicht es daher durch mathematische Modelle, die als Programme auf Rechnern ablaufen, reale Systeme dynamisch nachzubilden. Grundsätzlich wird die Simulation daher angewendet, um das dynamische Verhalten realer Systeme zu beschreiben. Auf diese Weise ist es möglich, mit dem Modell des realen Systems zu experimentieren und das Steuerungssystem eventuell zu trainieren. Dies empfiehlt sich besonders, wenn die praktische Erprobung des realen Systems zu gefährlich, zu teuer, zu langsam oder gänzlich unmöglich ist.

Auf dem Gebiet der Mensch-Maschine-Kommunikation wird Simulation eingesetzt um:

- Prognosen für das künftige Verhalten des zu führenden Systems zu gewinnen,
- Prüfungen neu entwickelter Systeme vorzunehmen,
- eindeutige und vergleichbare Bedingungen für anthropotechnische Experimente zu schaffen,
- Personen zu trainieren oder auszubilden. Hierbei kann auch die angemessene Reaktion auf in der Praxis sehr selten vorkommende Störungen geübt werden /1/.

Unter der **Darstellung** versteht man die wahrnehmbare Wiedergabe der vereinbarten Informationen des Mensch-Maschine-Systems, wobei meist die gemäß Klassifizierung der verschiedenen Darstellungsarten Tabelle 1 verwendet wird. Wesentliche Eigenschaften der technischen Darstellungen sind die Effizienz und die Struktur der Darstellung. Die Effizienz einer Darstellung wird dabei durch das Verhältnis von präsentierter Information zu präsentierten Daten ausgedrückt, während sich die Struktur darin ausdrückt, wie schnell die Orientierung eines Bedieners in einer Darstellung möglich ist. Beide Faktoren hängen

davon ab, wie gut sich die dargestellten Teile voneinander unterscheiden und wie vertraut der Bediener mit dem System ist /1/.

| **Kriterium:** | **Darstellung:** |
|---|---|
| | |
| nach den eingesetzten Reizen | optische Darstellung |
| | akustische Darstellung |
| | |
| nach Organisation des Dargestellten | Hierarchie-Darstellung |
| | Baum-Darstellung |
| | Ablauf-Darstellung |
| | |
| nach dem Bezug zur Realität | Abbild |
| | Sinnbild |
| | |
| nach Veränderlichkeit der Wiedergabe | Anzeige |
| | Dokumentation |

**Tabelle 5-1: Die Klassifizierung von Darstellungen**

Unter der Funktion der **Interaktion einer Mensch-Maschine-Schnittstelle** versteht man die wechselseitige Beeinflussung zweier voneinander weitgehend unabhängiger Größen oder Funktionseinheiten des Mensch-Maschine-Systems. Bei der Mensch-Maschine-Interaktion bilden Mensch und Maschine die sich wechselweise beeinflussenden Funktionseinheiten, wobei die Aktion des Menschen **Handeln** genannt wird.

Sehr oft wird zur Darstellung des **Ablaufs der wechselseitigen Beeinflussung** (**Interaktion**) zwischen zwei agierenden Einheiten (z.B. einem Benutzer und einem Programm) ein sog. **Interaktionsdiagramm** verwendet, welches einer auf der Graphentheorie basierenden Methode entspricht. Die Aktionen der beiden Einheiten werden dabei unterschiedlich gekennzeichnet, die möglichen Reihenfolgen durch Pfeile kenntlich gemacht. Abbildung 28 zeigt eine solche Interaktion zwischen einem Anwender und einem Steuerungsprozess/7/.

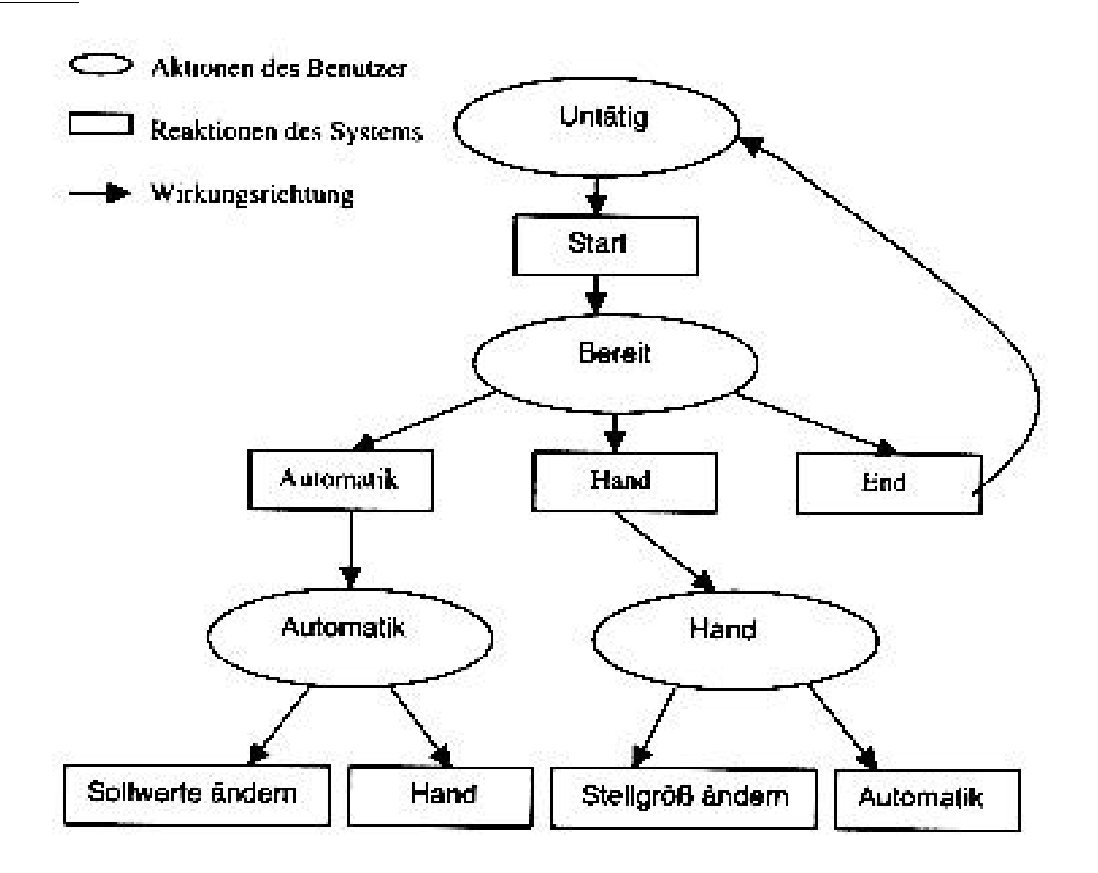



**Abbildung 20-28**

**: Beispiel eines Interaktionsdiagramms**

### *20.10.1.2 Die Benutzerfreundlichkeit als Maßstäbe zur Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle*

Das globale Gestaltungsziel einer Mensch-Maschine-Schnittstelle muß darin bestehen, nach Maß des Menschen, d.h. nach seinen Eigenschaften, Fähigkeiten und Bedürfnissen diese zu gestalten. Die Arbeitsplätze oder Produkte müssen demnach zum Wohle ihrer Benutzer Anforderungen in der folgender Priorität genügen:

- Sicherheit (Es darf keinerlei Gefahr für das Leben und Gesundheit entstehen),
- die Arbeit am zu gestaltenden Arbeitsplatz oder mit dem zu gestaltenden Produkt muß menschengerecht (ausführbar, erträglich und zumutbar) sein,
- physische und psychische Überforderung sind zu vermeiden,

* der Lernaufwand bei der Maschienenführung ist gering zu halten,
* es sind möglichst wenige Bedienprinzipien zu verwenden,
* die Bedienprinzipien sollen vom Benutzer leicht zu verstehen sein.

Für eine technische Einrichtung ist das Prädikat „Benutzerfreundlichkeit“ um so berechtigter, je besser die vorgenannnten Kriterien erfüllt sind, wobei die Eigenschaft „Benutzerfreundlichkeit“ einer Maschine sich durch folgende Checkliste am besten beschreiben läßt:

* der Lernaufwand ist minimal,
* die Ablenkung von der eigentlichen Aufgabe durch die technische Einrichtung ist möglichst gering,
* die Möglichkeiten "Fehler rückgängig zu machen" ist gegeben,.
* die Entlastung von Routinetätigkeiten ist gegeben,
* die Gewißheit über den aktuellen Bearbeitungstand ist gegeben,
* verläßliche, gleichbleibende Reaktionen des Systems sind gegeben,
* der Spielraum des Benutzers ist adäquat der gestellten Aufgabe.

wobei sich der Spielraum des Benutzers dadurch ausgedrückt, daß er sowohl Einflußmöglichkeiten auf den Bearbeitungsgang (Reihenfolge, Unterbrechungen, Fortsetzungen), als auch die Verwendung eigener Abkürzungen hat /10/.

### 20.10.2 Ergonomische Grundlagen von Mensch-Maschine-Schnittstellen

Es ist offensichtlich, daß die Schnittstelle Mensch-Prozeß eine wesentliche Rolle bei der Kontrolle und Steuerung von technischen Vorgängen spielt. Im folgenden sollen daher die beiden wichtigsten Elemente erörtert werden.

#### *20.10.2.1 Auslegung von optischen Anzeigen*

Bei der Auslegung und Konstruktion einer Anzeige muß darauf geachtet werden, daß sie ohne größere Anstrengung vom Operateur eindeutig und schnell abgelesen werden kann. Dabei spielen sowohl die physikalisch-physiologischen Grenzen des menschlichen Auges hinsichtlich Auflösungsvermögen und Helligkeitswahrnehmung, als auch die Eindeutigkeit der verwendeten Muster eine Rolle.
Die Erkennbarkeit eines Objektes hängt von den Absolutwerten des Abstandes Beobachter-Anzeige, der Zeichenhöhe und dem Sehwinkel ab. Ein normales Auge kann bei ausreichenden

Werten für Kontrast, Leuchtdichte und Darbietungszeit Einzelheiten bis zur Größe einer Bogensekunde erkennen.
Beim längerem Beobachten soll das Auge möglichst entspannt sein. In der Praxis hat sich ein Abstand Auge-Anzeige von etwa drei Metern als günstig erwiesen, die kleinsten Buchstaben müssen bei diesem Abstand eine Größe von mindestens einem Zentimeter haben.
Abgesehen von der Größe der Anzeige gibt es noch weitere Faktoren, die Einfluß auf die Sehschärfe und damit die Erkennungsleistung des Auges haben:

- **Abbildungsort auf der Netzhaut**
  Bei einem Abstand von einem Meter wird ein kreisrunder Bereich von etwa zwölf Quadratzentimetern scharf gesehen.
- **Leuchtdichte**
  Bis zu einer Lichtstärke von 100 cd/m$^2$ wächst die Sehstärke an, darüber kaum noch.
- **Kontrast**
  Bei einer Leuchtdichte von 100 cd/m$^2$ wächst die Sehschärfe bis zu einem Leuchtdichteverhältnis von 10-20 deutlich an.
- **Lebensalter des Beobachters**
  Die Sehschärfe eines 60-jährigen beträgt im Mittel 75% der eines 20-jährigen

Neben diesen wahrnehmungsphysiologischen Gesichtspunkten muß auch die Verarbeitung der aufgenommenen Informationen im Gehirn berücksichtigt werden. So vollzieht der Mensch die Mustererkennung des Buchstabes E z.B. dadurch, daß er ein Muster aus verschiedenen waagerechten Strichen und einem senkrechten Strich detektiert und zusammensetzt. Wir haben uns zuvor (meist unbewußt) entschieden, diese Merkmale so zusammenzufügen, daß diese Wahrnehmung entstehen konnte. Verschiedene Verarbeitungsschritte bestimmen dabei, wie der Gegenstand in Teile gegliedert wird, um sie im anschließenden Mustervergleich zu erkennen. Daraus folgt, daß eine eindeutige Gliederung der einzelnen Anzeigeelemente, die wiederum eindeutig sein müssen, für eine schnelle und unmißverständliche Informationsübertragung ausgesprochen wichtig ist.

#### *20.10.2.2 Auslegung von Bedienelementen*

Aus dem eben gesagten folgt aber, daß bei Auslegung von Bedienelementen auf folgende Punkte zu achten ist:

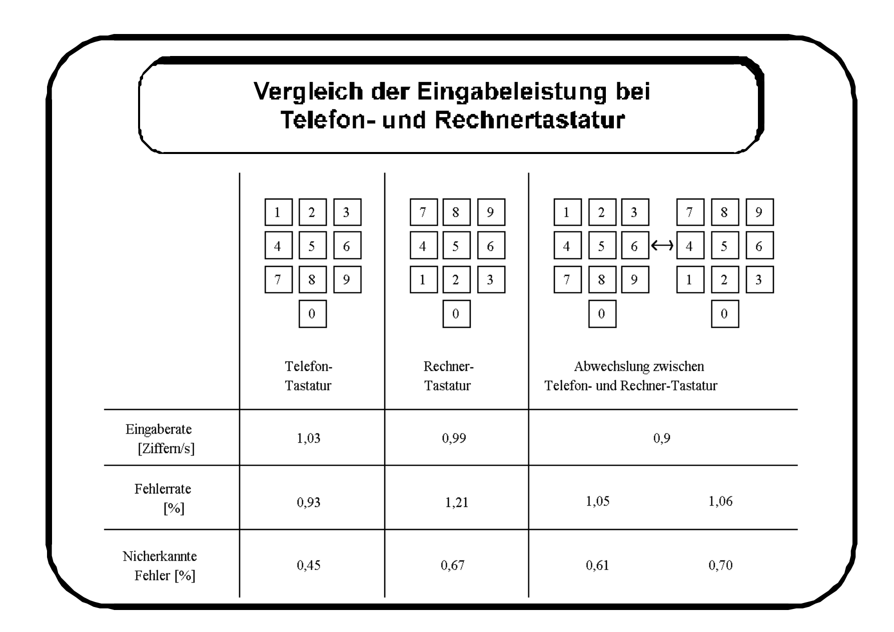
- **die funktionale Gestaltung**
- **die übersichtliche Anordnung und**
- **die leichte Zugänglichkeit**

Desweiteren sind für unterschiedliche Aufgaben entsprechend andere Bedienelemente zu verwenden und bei einer schnellen Bedienung Fehlgriffe zu vermeiden. Deshalb ist es u.a. vorteilhaft für Ein-Aus-Bedienelemente z.B. Kippschalter zu verwenden, während man bei der Auswahl mehrerer Betriebszustände (z.B. Meßbereichseinstellung) dreh- und rastbare Pfeilknöpfe und bei stufenlosen Regelungsaufgaben Skalenknöpfe verwenden sollte. Durch diese verschiedenen Formen lassen sich zudem die Bedienelemente auch bei ungünstigen Verhältnissen, z.B. Dunkelheit oder Farbenblindheit des Bedieners, fehlerfrei erkennen und bedienen.

Zusätzlich zur Form des Bedienelementes bietet sich die Farbe zur Kennzeichnung an. Besonders wichtige Bedienelemente sollten entsprechend ihrer Bedeutung besonders auffällig sein. Man denke z.B. an Notaustasten, die meist mit der Signalfarbe rot gekennzeichnet sind. Es gilt aber in jedem Fall, daß ein Bedienelement eindeutig nur einer Funktion zuzuordnen ist und der eingestellte Betriebszustand eindeutig und einfach zu erkennen ist.

Desweiteren müssen die Bedienelemente ohne größeren Aufwand in kürzester Zeit erreichbar sein, d.h. im **Greifraum** des Bedieners liegen. Dies ermöglicht eine schnelle Reaktion und vermindert die Ermüdung des Bedieners.

Bei der Auslegung von Tastaturen ist auf eine bedienergerechte und einheitliche Position der Tasten zu achten. Unterschiedliche Anordnungen von Eingabetasten können zu unterschiedlich hohen Fehlerraten führen.




| | Telefon-Tastatur | Rechner-Tastatur | Abwechslung zwischen Telefon- und Rechner-Tastatur | |
|---|---|---|---|---|
| Eingaberate [Ziffern/s] | 1,03 | 0,99 | 0,9 | |
| Fehlerrate [%] | 0,93 | 1,21 | 1,05 | 1,06 |
| Nicherkannte Fehler [%] | 0,45 | 0,67 | 0,61 | 0,70 |

**Abbildung 29**

Neben der groben Mißachtung der physiologischen Grenzen des Menschens bei der Bedienung von technischen Systemen tritt aber gerade in jüngster Zeit die grobe Mißachtung der psycholo-

gisch-kognitiven Grundvoraussetzungen des Menschen zur Ver- und Bearbeitung von großen Informationssystemen in den Vordergrund, weshalb wir dieser Problematik ein eigenes Unterkapitel widmen wollen.

#### *20.10.2.3 Über die Ergonomie moderner rechnergestützter Informations- und Steuerungssysteme*

Besondere Aufmerksamkeit hat in den letzten Jahren die Entwicklung benutzerfreundlicher Mensch-Computer-Schnittstellen gefunden. Zu Beginn der Computerentwicklung waren die Rechner nur von wenigen hochbezahlten Spezialisten zu bedienen, heute ist jede durchschnittliche Sekretärin in der Lage, über eine graphische Bedienoberfläche den Umgang mit dem Rechner schnell zu erlernen.

Gemeinsam ist all diesen modernen Rechen- und Steuerungsanlagen, daß ihre Bedienung auf Grund von Bildschirmdaten vorgenommen wird, wobei die einzelnen Informationsverarbeitungsschritte ggf. nacheinander auf dem Bildschirm aufgerufen werden können, bzw. bei technischen Prozeß- und Prozeßüberwachungseinheiten, die zugehörigen Betriebsparameter jeweils an den entsprechenden Einheiten oder Meßpunkten angezeigt werden. Über die jeweiligen Eingabegeräte wie Tastatur, Maus oder Lichtgriffel kann der Bediener dann direkt mit dem Programm kommunizieren (daher auch der technische Begriff der Mensch-Maschine-Kommunikation).

Grundlage bei diesen anwendernahen Realisationen von Steuerungs- und Informationssystemen ist aber die Einhaltung der folgenden ergonomischen Prinzipien bei der Oberflächengestaltung:

- es dürfen nicht zuviel Information in einem Fenster auf dem Bildschirm dargeboten werden, d.h. es dürfen nicht mehr als fünf unabhängige Problembereiche zur gleichen Zeit aufgezeigt werden

- bei Verwendung mehrerer Ebenen muß ein anzeigenmäßiger Hinweis existieren, in welcher Ebene sich der Benutzer aktuell befindet;

- es darf keine mentale „Überfütterung“ des Bedieners durch nicht konforme Darbietung von Informationen auf verschiedenen Sinneskanälen existieren;

- eine mentale Entlastung des Bedieners durch eine einfache Strukturierung und die Verwendung allgemeinverständlicher Ikonen sollte angestrebt werden;
- die Darbietung der Information in einem Kausalzusammenhang muß gewährleistet sein;
- die Darbietung der Information in einer die mentale Modellbildung unterstützenden Art und Weise (Beachtung unterschiedlicher Kulturkreise) sollte gewährleistet sein;
- die Darbietung der Information in einer durch den Bediener wählbaren Geschwindigkeit und Wiederholbarkeit sollte gewährleistet sein.

Die Beachtung dieser detailliert aufgeführten Prinzipien münden in den folgenden generalisierten Eigenschaften eines klientelgerechten Informationssystems:

| **unbedingte Eigenschaften eines modernen Informationssystems** |
| --- |
| Möglichkeit mehrere Informationssysteme parallel aufzurufen |
| Animation durch laufende Bilder oder Schriftzüge |
| Vorteilhafte farbliche Gestaltung |
| globale Informationen auf eine Seite beschränkt |
| Existenz einer alle Ebenen verbindenden Indexsuche |
| Existenz einer vom Benutzer einsetzbaren Notizbuchfunktion |
| Funktionssicherheit auch bei Fehlbedienhandlungen |
| Existenz von Navigierungshilfen durch die verschiedenen Ebenen und Informationssysteme |

Vor allem die letzten drei Eigenschaften sind dabei bei den wenigsten heutigen Informationssystemen realisiert, obwohl gerade diese ein unbedingtes Muß vor allem für Novizen darstellen.

Um das eben gesagte zu vertiefen, sind in der folgenden Tabelle beispielhaft besonders positive und besonders negative Eigenschaften von Informationspräsentationsdarbietungen aufgelistet:

| **Positive Eigenschaften** | **Negative Eigenschaften** |
|---|---|
| Animation durch laufende Bilder oder Schriftzüge | Überladener Hintergrund |
| Vorteilhafte farbliche Gestaltung | Unmöglichkeit eine Informationssequenz zu verlassen |
| Information auf eine Seite beschränkt | Absturz der Präsentationen durch Fehlbedienungshandlungen |
| Indexsuche | Nichtstrukturierte Informationsfülle |
| Notizbuchfunktion | Nichtstrukturierte Verknüpfung der verschiedenen Informationsanteile (alle) |
| Navigierungshilfe | Unvermögen mehrere Informationsseiten parallel aufzurufen |

Zu dieser Tabelle die folgenden Erläuterungen der verschiedenen Eigenschaften:

**- Positive Eigenschaften:**

- **Animation durch laufende Bilder oder Schriftzüge:**

  Die Überbrückung der Wartezeiten beim Aufbau von Programmabläufen bzw. während des Entscheidungsprozesses des Benutzers muß als besonders positiv angesehen werden, da durch diese Präsentationsart sowohl das Warten als auch ein Suchprozeß des Benutzers als „erträglicher“ erscheint. Daneben wird automatisch die Neugier des Benutzers erhöht, wobei diese Interessenerhöhung die Benutzer veranlaßt, über kleinere Inkompetenzen hinwegzuschauen.

- **Vorteilhafte farbliche Gestaltung:**

  Durch die farbliche Unterlegung der Schlüsselbegriffe wird der Suchprozeß der Bediener positiv unterstützt. Das „Überfliegen“ der Informationspräsentationen durch unschlüssige Benutzer wird unterstützt, der Entscheidungsprozeß, welche Informationen näher betrachtet

werden sollen, erleichtert. Durch diese Eigenschaft wird zudem die abschließende Meinungsbildung unterstützt, da resümierend die verschiedenen Informationen ohne großen Zeitaufwand und mentale Belastung nochmals aufgerufen werden können.

- **Information auf eine Seite beschränkt**

  Die möglichst kompakte Offerierung der Information auf der aktuellen Präsentationsseite ist eine der Schlüsselanforderungen eines jeden Informationssystems. Bedenkt man, daß der Mensch zum gleichen Zeitpunkt nur max. 5 kontextmäßig getrennte Informationsblöcke erfassen kann, erscheint es zwingend, daß die Auflistung nur weniger Schlüsselbegriffe auf den obersten Ebenen eines Servers realisiert wird.

- **Indexsuche**

  Als elementar für jeden Benutzer muß die Funktion der Indexsuche angesehen werden. Über eine immer präsente Ikone muß der Benutzer die Möglichkeit erhalten, immer neue Schlüsselbegriffe in das System einzugeben, damit die individuelle Informationsbildung aktiv unterstützt werden kann. Die Indexsuche sollte dabei unabhängig von der momentanen Tiefe im Informationssystem realisiert sein. Sie sollte zudem auch ein Springen von einem Informationsbegriff zu einem anderen Informationsbegriff ermöglichen.

- **Notizbuchfunktion**

  Über die Notizbuchfunktion sollte es dem Benutzer möglich sein, individuelle Bemerkungen und Gedanken über seine Tastatur anzulegen, um so das Navigieren durch die oft sehr komplexe Informationsfülle zu unterstützen. Durch sie kann eine individuelle Informationskonfigurierung realisiert werden.

- **Navigierungshilfe**

  In einem optional aufzurufenden Präsentationsfenster sollte bei komplexen Informationsstrukturdarbietungen die momentane Lage im Informationssystem anzeigbar sein. Dem Benutzer wird dabei ermöglicht, im System gezielt zu navigieren, „Einbahnstraßen“ in den Präsentationen zu erkennen und vor allem wieder zu verlassen. Das Phänomen des „lost in

space“, also der Orientierungslosigkeit in einem komplex strukturierten Informationssystem kann dadurch umgangen werden.

**- Negative Eigenschaften**

- **Überladener Hintergrund**

  Die zu komplexe Beladung des Hintergrundes eines Präsentationssystems durch servertypische Logos, Bilder oder Ikonen stellt einen der Hauptfehler dieser neuen Medien dar. Der Zweck bei dem Benutzer eine bestimmte Information durch immerwährende Präsents einer Hintergrundinformation bleibend im Gedächtnis abzulegen, führt oft dazu das die eigentliche Vordergrundinformation in den Hintergrund tritt bzw. oft nur mit Mühe aufgenommen werden kann. Der Benutzer fühlt sich schon nach kurzer Zeit überfordert oder ermüdet sehr schnell. Die Benutzung der Präsentation wird als schwierig und aufreibend empfunden.

- **Unmöglichkeit eine Infomations-Sequenz zu verlassen**

  Viele Informationspräsentationen (z.B. bei WWW-Servern) weisen zusammenhängende Sequenzen der Informationsseiten auf, wodurch es oft nicht möglich ist, diese mehrere Seiten umfassenden Informationsreihen einfach wieder zu verlassen. Der Benutzer wird daher gezwungen, sich durch diesen Informationsblock durchzuhangeln. Angstgefühle, daß andere Informationsblöcke ebenso mächtig und nichtverlaßbar sind, werden erzeugt, was zu einer Nichtausschöpfung des Informationsangebotes trotz eines vorhandenen Interesses führt.

- **Absturz der Informationspräsentationen durch Fehlbedienungshandlungen**

  Die Fehlbedienung der Informationssysteme durch geübte und ungeübte Benutzer kann nie ausgeschlossen werden. Besonders frustrierend ist dabei aber, wenn das Computersystem durch diese Fehlbedienungen „abstürzt“, d.h. eine so elementare Verletzung des im Hintergrund laufenden Betriebssystem verursacht wird, daß der Rechner seine Funktion einstellt oder in einen Betriebsmodus gerät, der eine weitere Bedienung ausschließt. In beiden Fällen muß der Computer ausgeschaltet werden. Ein neues „Einloggen“ in den Server ist unabdingbar. Neben den dadurch entstehenden Kosten wird vor allem der Zeitaufwand, bis der alte Status Quo der Informationsdarstellung wieder erreicht wurde, von den Benutzern als frustrierend empfunden. Nicht selten gesellt sich zu diesem Gefühl auch ein Angstgefühl, daß

die Präsentation nicht oder nur schwer bedienbar ist, wodurch diese Präsentationen seltener in Anspruch genommen werden.

- **Nichtstrukturierte Informationsfülle**

  Der Kardinalfehler fast aller Informationspräsentationen ist die nichtstrukturierte Informationsfülle. Neben unterschiedlichen Arten der Präsentationen, oft werden sogar auf einer Seite des Systems Informationen aus den unterschiedlichsten Bereichen gemischt. Der Benutzer wird dadurch genötigt, selbständig zusammenhängende Informationsblöcke zu bilden bzw. die Präsentation „mental“ zu strukturieren. Die Informationsaufnahme wird durch diesen Vorgang verzögert, Ermüdung und Verwirrung sind die Folge.

- **Nichtstrukturierte Verknüpfung der verschiedenen Informationsanteile**

  Wesentlicher Kritikpunkt an allen analysierten Servern ist, daß es mit ihnen nicht möglich ist, von einem Themenkomplex in einen anderer Themenkomplex durch das Aufrufen der Indexsuche zu gelangen. Unentschlossene Bediener sind dadurch genötigt, durch eigene Überlegungen Themenkomplexe zu evaluieren. Gerade bei unentschlossenen Benutzern führt dies zu Nichtausschöpfung der präsenten Informationen.

- **Unvermögen mehrere Informationsseiten parallel aufzurufen**

  Oft kommt es vor, daß die Benutzer mehrere Informationen parallel aufrufen wollen, um die verschiedenen (konträren) Informationen vergleichen zu können. Dadurch erst wir es gewährleistet, daß unentschlossene Benutzer in ihrer Meinungsbildung unterstützt werden. Dieses Aufschlagen mehrerer Seiten wird momentan von keinem der Server unterstützt. Vor allem junge Benutzer verlieren deshalb oft die Lust sich umfassend zu informieren. Die Meinungsbildung wird deshalb oft nicht abgeschlossen

Von diesen Erkenntnissen ausgehend, wollen wir im Folgenden einige Tips und Fakten besprechen, wie man Mensch-Maschine-Schnittstellen „besser“ gestalten kann.

#### *20.10.2.4 Vorgehensweisen zur Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen*

Wir beginnen mit der allgemeinen Planung eines Produktes, da diese hocherprobten Planungs- und Realisierungsphasen heute meist auch bei der Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen verwendet werden.

Im Rahmen der Entwicklung von Produkten erfolgt die konzeptionelle Gestaltung in sieben Phasen:

- Ziel definieren,
- **Durchführbarkeit prüfen,**
- **Anforderungen festlegen,**
- **Entwicklung,**
- **Test,**
- **Fertigung,**
- **Nutzung und Wartung.**

Im Gegensatz zu solch konzeptionellem Gestalten sind bei der Entwicklung von Benutzerschnittstelle nur zwei Phasen besonders zu berücksichtigen:

- **Festlegen der Aufgabe von Mensch und Maschine,**
- **Zuordnen der Funktionen zum Menschen bzw. zur Maschine,** entsprechend den unterschiedlichen Eigenschaften der Benutzer (Benutzerkreis) einerseits und der Maschine anderseits**.**

Es ergeben sich daraus die Anforderungen an die Benutzeroberfläche als Schnittstelle zwischen beiden Partnern, die Antworten auf die Fragen:

- **welche Daten werden mit der Benutzeroberfläche augetauscht (Art, Zweck, Wichtigkeit, Menge ?**
- **In welcher Reihenfolge wird die Aufgabe abgearbeitet ?**
- **Welche Aktion-Reaktionspaare ergeben sich ?**
- **Unter welchen zeitlichen Bedingungen läuft der Austausch ab ?**

geben müssen.

Hinzu kommen Anforderungen, die sich aus den  Umgebungseinflüssen wie Platzmangel, Schmutz oder anderen technischen Bedingungen ergeben. Wie in /11/ gezeigt, lassen sich aber die Modifikationsraten durch Akzeptanzerhebungen bzgl. des angestrebten Gestaltungsergeb-

nisses und die Anwendbarkeit einer zu verwendenden Oberfläche vor der Realisierung der künftigen Benutzeroberfläche durch die potentiellen Benutzern erheblich reduzieren.

### *20.10.2.5 Die Implementierungsphase von Mensch-Maschine-Schnittstellen*

Nach dieser Designerphase erfolgt die Implementierung, die im Folgenden aufgegliedert erläutert werden soll. Wegen der Vielzahl der heute verwendeten Umsetzungstools, wollen wir uns dabei aber in unserem Beispiel auf einer der gängigsten Oberflächen beschränken.

#### 20.10.2.5.1 Begriff der Benutzerschnittstelle

Die Benutzerschnittstelle der hier beispielhaft ausgewählten Windowsanwendung besteht aus **Objekten** und **Aktionen**.

Als Objekt werden dabei die Komponenten der Benutzerschnittstelle bezeichnet, die als Einheit manipulierbar sind. Objekte haben Attribute oder Eigenschaften durch die sie beschrieben werden.

Als Aktion werden die Komponenten der Benutzerschnittstelle bezeichnet, die angeben, was man mit den Objekten machen kann.
Die gängigsten Objekte sind:

##### *20.10.2.5.1.1 Fenster*

Ein Fenster präsentiert dem Benutzer die zur Anwendung gehörigen Objekte und Aktionen sowie Hilfsmittel, um diese Objekte und Aktionen auszuwählen und zu manipulieren. Nach SAA-Spezifikation (System-Anwendungs-Architektur-Spezifikation) werden folgende Fenster unterschieden:

**- Hauptfenster (primary window)**

Ein **Hauptfenster (primary window)** ist ein Fenster, in welchem die Objekte und Aktionen einer Anwendung gezeigt werden. Jede Anwendung hat genau ein Hauptfenster. Ein Hauptfenster ist also der Hauptfokus der Arbeit des Benutzers mit einer Anwendung.

Ein Hauptfenster kann auf dem Bildschirm bewegt, in seiner Größe verändert und in ein Icon verkleinert werden.

**- Nebenfenster (supplemental window)**

Ein **Nebenfenster (supplemental window)** ist ein Fenster, das die Arbeit mit einem anderen Fenster ergänzen bzw. unterstützen soll. Jedes unterstützende Fenster ist also von einem anderen Fenster abhängig.

Normalerweise hängt ein Nebenfenster direkt von einem Hauptfenster ab. Ein typisches Beispiel dafür ist ein "Hilfe-Fenster", in dem ein erläuternder Text zu einem Hauptfenster angezeigt wird.

Ein Nebenfenster kann aber von einem anderen, vorgelagerten unterstützenden Fenster abhängen. Ein Beispiel dafür ist ein "Hilfe-über-Hilfe-Fenster", in dem Zusatzinformation über den Umgang mit dem "Hilfe-Fenster“ gegeben werden. Diese Kette von unterstützenden Fenstern kann im Prinzip beliebig verlängert werden.

**- Sekundäres Fenster ( secondary window )**

Ein **sekundäres Fenster (secondary window)** ist ein Nebenfenster, das immer mit einem Hauptfenster verbunden ist und für einen parallelen, unabhängigen Dialog (modeless dialog) mit dem Benutzer verwendet wird. "Unabhängig " bedeutet in diesem Zusammenhang, daß der Dialog mit dem sekundären Fenster keinen Einfluß auf den Dialog mit dem primären Fenster hat. Ein sekundäres Fenster kann auf dem Bildschirm bewegt und in seiner Größe verändert werden. Ein sekundäres Fenster kann nicht in eine Icon verkleinert werden.

Ein typisches Beispiel für ein sekundäres Fenster ist wieder ein "Hilfe-Fenster" . Der Benutzer kann die Hilfe anfordern, in der Hilfe blättern usw., ohne daß die Informationen in dem primären Fenster davon beeinflußt werden.

**- Dialogbox (dialog box)**

Eine **Dialogbox (dialog box)** ist ein Nebenfenster, das für einen abhängigen Dialog mit dem Benutzer verwendet wird. "Abhängig" bedeutet in diesem Zusammenhang, daß der Dialog mit der Dialogbox einen Einfluß auf das Fenster hat, von dem aus die Dialogbox aktiviert

wurde. Eine Dialogbox dient dazu, eine Aktion, die in dem aufrufenden Fenster angestoßen wurde, durch zusätzliche Informationen zu ergänzen. Diese zusätzlichen Information, die im Dialog mit einer Dialogbox abgefragt oder eingegeben werden, beeinflussen also direkt das Verhalten der Anwendung oder des aufrufenden Fensters. Ein Beispiel für eine Dialogbox ist ein Fenster für die Einstellung der Baudrate für ein Datenübertragungsprogramm. Die in der Dialogbox gewählte Einstellung hat einen direkten Einfluß auf die Arbeitsweise des Programms im Hauptfenster.

Eine Dialogbox kann auf dem Bildschirm bewegt werden. Ihre Größe ist nicht veränderbar.

**- Eingabepflichtige Dialogbox (modal dialog box)**

Eine **eingabepflichtige Dialogbox (modal dialog box)** ist eine Dialogbox, bei der der Benutzer den Dialog vollenden muß, ehe er zu dem Fenster zurückkehren kann, von dem aus die Dialogbox aktiviert wurde.
Eingabepflichtige Dialogboxen sollten dann benutzt werden, wenn für die Weiterarbeit mit der Anwendung bestimmte Informationen zwingend erforderlich sind. Wenn der Benutzer z.B. eine Datei speichern will, der er noch keinen Namen gegeben hat, dann kann er den Speichervorgang erst dann abschließen, wenn er der Datei einen Namen gegeben hat.

**- Fortschrittsanzeige (progress indicator)**

Eine **Fortschrittsanzeige (progress indicator)** ist eine eingabepflichtige Dialogbox, die den Benutzer über den Fortgang länger dauernder Aktionen wie z.B. das Drucken von Listen das Kopieren vieler Dateien oder die Übertragung größerer Datenmengen informiert.

**- Meldung (message)**

Eine **Meldung (message)** ist eine eingabepflichtige Dialogbox, die dem Benutzer mitteilt, daß ein bestimmtes Ereignis aufgrund einer Aktion eingetreten ist, die er ausgelöst hat. Jede Meldung enthält ein Symbol oder Piktogramm (Icon), das die Art der Meldung ausdrückt, einen erklärenden Text und einen oder mehrere Pushbuttons.

**- Information (information message)**

Eine **Information (information message)** ist eine Meldung, die dem Benutzer mitteilt, daß eine bestimmte Funktion normal verläuft oder normal abgeschlossen wurde, und ihn zu einer Bestätigung auffordert. Ein typisches Beispiel ist die Meldung, daß ein Kopiervorgang erfolgreich abgeschlossen wurde.

**- Warnung (warning message)**

Eine **Warnung (warning message)** ist eine Meldung, die dem Benutzer mitteilt, daß eine möglicherweise unerwünschte Situation eintreten könnte, wenn eine bestimmte Aktion ausgelöst wird. Typische Beispiel sind die Sicherheitsabfragen vor dem Löschen einer Datei oder dem Verlassen eines geänderten, aber noch nicht wieder gespeicherten Textes.

**- Handlungsmeldung (action message)**

Eine **Handlungsmeldung (action message)** ist eine Meldung, die dem Benutzer mitteilt, daß eine Ausnahmesituation eingetreten ist, die durch eine Handlung des Benutzers korrigiert werden muß. Ein typisches Beispiel ist die Meldung, daß ein Diskettenlaufwerk beim Versuch, Dateien zu kopieren, nicht geschlossen ist.

**- Logofenster (logo window)**

Das **Logofenster (logo window)** ist eine Dialogbox, in der Informationen über den Hersteller der Software, die Anwendung, Copyrightvermerke, Versionsnummern u. ä. angezeigt werden können. Ein Logofenster kann bei Aufruf des Programms angezeigt werden. Es kann auch später jederzeit über eine Standardaktion im Hilfe-Pull-down-Menü aufgerufen werden.

#### *20.10.2.5.1.2 Die Gestaltungselemente der Fenster*

Beim Aufbau von Fenstern werden **Fensterkomponenten** und **Kontrollelemente** benutzt. Die Fensterkomponenten haben keinen Einfluß auf die Informationen, die in die Anwendung einge-

hen, sondern dienen nur der Präsentation. Die Kontrollelemente haben einen Einfluß auf die Anwendung.

Man unterscheidet die folgenden Arten von Fensterkomponenten:

**- Titelleiste (title bar)**

Die **Titelleiste (window titel bar)** ist die Fensterkomponente, mit der das Fenster für den Benutzer identifiziert wird. Außerdem weist sie den Benutzer durch ihre besondere visuelle Gestaltung darauf hin, daß das Fenster verschoben werden kann.

Die Titelleiste besteht aus mehreren Einzelteilen: dem Systemmenüsymbol(system menue icon), dem Fenstertitel (window titel) sowie den Größenveränderungssymb olen (window-sizing icons).

Jedes dieser Einzelteile hat eine besondere Funktion. Die Titelleisten der verschiedenen Fenster enthalten diese Einzelteile in verschiedener Kombination. Die Funktion und Verwendung der Einzelteile wird im folgenden beschrieben.

**- Fensterrahmen (window border)**

Der **Fensterrahmen (window border)** ist die Fensterkomponente, die ein Fenster optisch vom Rest des Bildschirms abgrenzt. Die Umrandungen der verschiedenen Fensterarten sind auch optisch verschieden. In der grafischen Version der Benutzeroberfläche sind Fenster, deren Größe verändert werden kann, in Segmente aufgeteilt, die dem Benutzer einen optischen Hinweis darauf geben, daß die Fenstergröße verändert werden kann. Die Umrandungen der Fenster mit konstanter Größe sind nicht segmentiert. Eingabepflichtige Dialogboxen haben eine doppelte Umrandung. Alle anderen Fenster haben eine einfache Umrandung.

**- Aktionsleiste (action bar)**

Die **Aktionleiste (action bar)** ist eine Fensterkomponente zur Darstellung der in einen Fenster möglichen Aktionen. Aktionsleisten werden direkt unter der Titelleiste angeordnet. Jede Anwendung, die mehr als eine Aktion zur Verfügung stellt, muß in ihrem Anwendungsfenster eine Aktionsleiste haben. Damit ein einheitliches Verhalten aller Aktionen einer Aktionleiste gewährleistet ist, muß es zu jeder Aktion, die in einer Aktionsleiste aufgeführt ist, ein Pull-

down-Menü geben, auch wenn dieses Pull-down-Menü nur noch einmal den Namen der Aktion wiederholt.

**- Arbeitsbereich (client area)**

Der **Arbeitsbereich (client area)** ist die Fensterkomponente, in welcher die eigentliche Anwendung dargestellt wird. Die meiste Zeit ist die Aufmerksamkeit des Benutzers auf diesen Arbeitsbereich gerichtet.

**- Schaltflächen (push button)**

Die **Schaltflächen (push buttons)** sind Fensterkomponenten zur Darstellung der in einem Fenster möglichen Aktionen. Schaltflächen werden in solchen Fenstern verwendet, für die eine Aktionsleiste zu aufwendig wäre, weil die Anzahl der möglichen Aktionen nur begrenzt ist. Zu solchen Fenstern zählen z.B. Dialogboxen, Meldungen und einige sekundäre Fenster.

**- Blätterleisten (scroll bar)**

Die **Blätterleisten (scroll bars)** sind Fensterkomponenten, welche dem Benutzer einen optischen Hinweis darauf geben, daß sich das Anwendungsobjekt über die obere und untere bzw. rechte und linke Begrenzung des sichtbaren Arbeitsbereichs hinaus fortsetzt. Sie stellen ihm Mittel zur Verfügung, diese nicht sichtbaren Teile in den Arbeitsbereich zu holen. Es gibt vertikale Blätterleisten für das Blättern nach oben und unten und horizontale Blätterleisten für das Blättern nach rechts und links. Alle Fenster, deren Größe verändert werden können, sollten Blätterleisten haben.

In den Fenstern sind sog. **Kontrollelemente** enthalten, die den Mensch-Maschine-Dialog ermöglichen. Die gängigsten Arten von Kontrollelementen sind:

**- Radiobutton (radio button)**

Ein **Radiobutton (radio button)** ist ein zweiteiliges Kontroll-Element, das aus einem runden Button für das visuelle Feedback und einem Auswahltext besteht.

**- Checkbox (check box)**

Eine **Checkbox (check box)** ist ein zweiteiliges Kontroll-Element, das aus einem rechteckigen Button und Auswahltext besteht.

**- Listbox (list box)**

Eine **Listbox (list box)** ist ein Kontroll-Element, das aus einer rechteckigen Box mit/ohne eine vertikalen bzw. mit/ohne einer horizontalen Blätterleiste besteht. Listboxen dienen dazu, dem Benutzer eine rollbare Liste von Alternativen anzuzeigen, aus denen er eine auswählen kann.

**- Datenfeld (single-line entry-field)**

Ein **Datenfeld (single-line entry-field)** ist ein Kontroll-Element, das zur Eingabe von Informationen durch den Benutzer dient. Das Eingabefeld ist auf eine Zeile beschränkt.

**- Textfeld (multiple-line entry-field)**

Ein **Textfeld (multiple-line entry-field)** ist ein rechteckiges Kontroll-Element, das zur Eingabe mehrzeiliger Informationen dient. Eine typische Anwendung ist die Editierung von Texten.

**- Kombinationsbox (combination box)**

Eine **Kombinationsbox (combination box)** ist ein Kontroll-Element, das die Möglichkeiten eines EntryFields und einer ListBox kombiniert. Sie dient dazu, dem Benutzer beim Ausfüllen eines EntryFields eine begrenzte Liste möglicher Alternativen zu zeigen und so die Eingabe durch einfaches Auswählen der Alternative aus der Liste zu erleichtern.

**- DropDown-Kombinationsbox (drop-down combination box)**

Eine **DropDown-Kombinationsbox (drop-down combination box)** ist eine Variation der Kombinationsbox. Sie bleibt so lange verborgen, bis der Benutzer sie ausdrücklich anfordert. Durch ein zusätzliches visuelles Symbol erhält der Benutzer einen Hinweis, daß eine zusätzliche ListBox mit Alternativen für das EntryField vorhanden ist.

**- DropDown-List (drop-down list)**

Eine **DropDown-List (drop-down list)** ist ein Kontroll-Element, das wie eine DropDown-Kombinationsbox funktioniert, aber an Stelle des EntryFields ein einziges Auswahlfeld hat, in dem als Default-Wert eine der möglichen Alternativen angezeigt wird.

**- ValueSet (value set)**

Ein **ValueSet (value set)** ist eine besondere Art eines Auswahlfeldes mit nur zulässigen Alternativen. /15/

Als Ausführungsbeispiel sei im folgenden eine SQLWindows Entwicklungsumgebung zur Entwicklung von Datenbankanwendungen beschrieben, die unter Microsoft Windows 3.1 läuft.

Es gibt zwei Arten von SQLWindowsobjekten (Top-level Objekt und Kindobjekt).

**Top-level Objekte**

**Top-level Objekte Top-level Objekte** sind das Formfenster, das Tabellenfenster, und die Dialogbox. Das Tabellenfenster darf entweder ein Top-level Objekt oder ein Kindobjekt sein.

Das Formfenster ist ein Hauptfenster für allgemeine Operationen. Das Tabellenfenster dient zum Anzeigen, Einfügen, Ändern, oder Löschen der Daten. Ein Top-level Tabellenfenster besitzt alle Eigenschaft eines Formfensters (Titel, Menü, und Ikon). Ein Kind-Tabellenfenster ist ein Kind eines Formfensters oder einer Dialogbox.

**Kindobjekte**

**Kindobjekte** sind Hindergrundtexte, Gruppenboxen, Datenfelder, Textfelder, Schaltflächen, Radiobuttons, Listboxen, Tabellenfensterspalten, Bilder, Blätterleisten, Aktionsleisten, Zustandsleisten, Meldungen, Standard-Dialogboxen.

Als zweites Beispiel sei die SAL (SQLWindows Application Language) erwähnt. SAL ist eine hohe Sprache zur Entwicklung der graphische Anwendungen in SQLWindows. SAL stellt alle

Ressourcen einer prozeduralen Sprache wie C und Cobol zur Verfügung, aber SAL ist eine Objekt-Orientierte-Sprache, und SAL ist eine ereignisgesteuerte Programmierungsprache.

SQL hat dabei die folgenden Hauptelemente:

**ReportWindows**

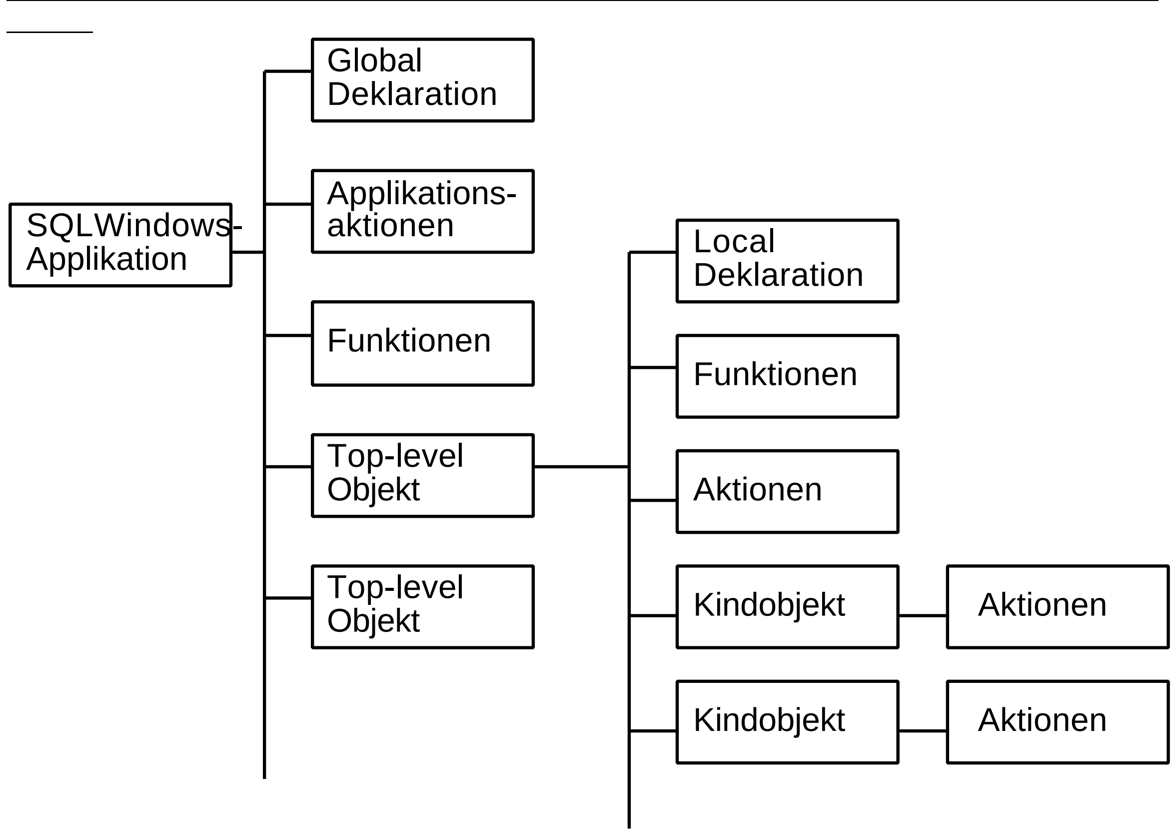
**ReportWindows** ist ein Softwaretool, das die Daten aus SQLWindows-applikationen verarbeitet. Es führt die Kalkulationen auf den Eingabedaten aus, formatiert die Daten und generiert einen Report.

**MDI-Fenster**

**MDI-Fenster (Multiple Document Interface)** dienen der Unterstützung des Formfensters, und des Top-level Tabellen-Fensters. Wenn ein Formfenster oder ein Tabellenfenster innerhalb eines MDI-Fensters generiert wird, wird es MDI-Kind genannt. Eine Anwendung konnte aus einem MDI-Fenster und ihren MDI-Kindern bestehen. /11/

## 6.3 Benutzeroberflächen Entwurf

Die aus diesen Aufzählungen resultierende formalisierte Gestaltung einer Benutzeroberfläche (UIS-Formular, UIS-Report) wird schematisch im Folgenden an dem SQLWindows-Beipiel gezeigt:




Eine SQLWindows-Anwendung besteht also wiederum aus Objekten (Fenster, Dialogboxen, Steuerelemente ...), wobei jedem Objekt Aktionen zugeordnet sind. Eine Aktion wird dabei immer durch ein Ereignis ausgelöst. Die Objekte einer Anwendung sind strukturiert, d.h. eine Anwendung enthält Top-Level Objekte, ein Top-Level Objekt enthält Kind-Objekte. Die Entwicklung einer SQL-Windowsanwendung erfolgt in den drei Schritten:

- Abbilden der Arbeitsobjekte in SQL-Windowsobjekte
- Konstruieren der SQL-Windowsobjekte
- Codieren

Damit sollen die Beispiele für den Design einer Mensch-Maschine-Schnittstelle abgeschlossen werden. Wie schon aus dieser kurzen Übersicht folgt, sind auch diese kein Garant dafür, daß eine Mensch-Maschine-Kommunikationssystem wirklich adäquat kreiert werden kann, wie das folgende Ereignisprotokoll einer Beinahekatastrophe zeigen soll.

Was noch fehlt sind die allgemeinen Fehlermechanismen, die Menschen im Umgang mit der Technik immer wieder unterlaufen, sowie die Schlüsse, die aus den kognitionswissenschaftlichen Betrachtungen für den Wissenschaftler gezogen werden können.

In dem folgenden Kapitel soll dies nachgeholt werden und zwar aus didaktischen Gründen eingebunden in eine Analyse des Unfalls von Three-Mile-Island. Das ausgewählte Beispiel soll dafür stellvertretend für die vielen Unfälle aufgrund von einer nicht menschengerechten Technik und den Einsatz von durch den Menschen nicht bedienbaren Steuerungseinrichtungen stehen.

### *20.10.2.6 Der Unfall von Three Mile Island als diskutiertes Beispiel einer unzulänglichen Mensch-Maschnie-Kommunikation*

#### 20.10.2.6.1 Einleitung

Der Unfall von Harrisburg am 28. März 1979 war bis Tschernobyl der gravierendste Reaktorunfall in der Geschichte der Atomindustrie. 14 Tage lang, in denen statt anfänglicher Beruhigung fast panische Angstgefühle auftraten, hielten die dramatischen Ereignisse die amerikanische Nation in Atem. Freiwerdende radioaktive Strahlung und eine riesige Wasserstoffblase veranlaßten schwangere Frauen und andere Bewohner zu einer Flucht aus der Umgebung.

Bereits vor seiner endgültigen Inbetriebnahme zum Jahresende 1978 litt der Kraftwerksblock 2 von Three Mile Island unter den üblichen Startschwierigkeiten, da das System sehr komplex, die Technologie kaum erprobt und viele Prozesse noch nicht bis ins Letzte erforscht waren.

Möglicherweise gab es in dem Reaktorblock 2 mehr als die üblichen Probleme. Die Anlage mußte immer wieder abgeschaltet werden und bei späteren Untersuchungen zeigte sich, daß die unterschiedlichsten Dinge nicht störungsfrei funktionierten. *Außerdem war zum Zeitpunkt des Unfalls das Wartungspersonal überarbeitet und aufgrund von Einsparungen reduziert worden.*

#### 20.10.2.6.2 Der Unfall

Der Unfall begann im Kühlsystem des Reaktors. In einem Druckwasserreaktor, wie er in Three Mile Island verwendet wird, gibt es zwei Kühlkreisläufe. In dem Primärkreislauf zirkuliert Wasser unter hoher Temperatur und hohem Druck durch den Reaktorkern, in dem die Kernreaktion abläuft. Dieses Wasser gelangt in einen Dampferzeuger, wo es dünne Rohrleitungen des Sekundärkreislaufes, eines weiteren Kühlsystems, umspült, und dessen Wasser aufheizt. Diese Übertragung von Wärme vom Primär- an den Sekundärkreislauf bewahrt den Reaktorkern vor

dem Überhitzen und nutzt die Wärme zur Erzeugung von Dampf. Auch das Wasser im Sekundärkreislauf steht unter hohem Druck, bis es für den Antrieb der den Strom erzeugenden Turbinen in Wasserdampf umgewandelt wird. In diesem Sekundärkreislauf nahm das Unglück seinen Anfang.

Das Wasser des Sekundärkreislaufs ist nicht radioaktiv (wie das des Primärkreislaufs), aber es darf keinerlei Verunreinigungen enthalten, da der Dampf die extrem fein bearbeiteten Turbinenschaufeln antreibt. Im Wasser enthaltene Partikel von verharztem Öl müssen durch die Kondensatvollreinigung entfernt werden.

Dieses Reinigungssystem hat in den wenigen Betriebsmonaten bereits dreimal versagt. Nun schaltete sich die Turbine am 28. März 1979 um 4:00 selbständig ab. *Für das Bedienungspersonal war zu diesem Zeitpunkt noch kein Grund dafür zu erkennen, aber man vermutete, daß aus der Kondensatvollreinigung etwas Wasser (vielleicht nicht mehr als eine Tasse voll) ausgetreten war, weil eine Dichtung leckte.*

*Durch den hohen Druck im System kommt es immer wieder vor, daß eine Dichtung versagt. Dieses bedeute im Normalfall auch kein Problem.* In diesem Fall gelangte die Feuchtigkeit jedoch in das pneumatische System der Anlage zur Steuerung bestimmter Instrumente und unterbrach den auf die Ventile zweier Speisewasserpumpen einwirkenden Luftdruck.

Diese Unterbrechung „sagte“ den Pumpen, daß irgend etwas nicht in Ordnung war (obwohl das nicht stimmte), und veranlaßte sie zum Abschalten. Ohne die Pumpen strömte das kalte Wasser nicht mehr in den Dampferzeuger, wo die Wärme des Primärsystems an das Kühlwasser des Sekundärsystems abgegeben wird. Bei einer Unterbrechung dieser Strömung schaltet sich die Turbine automatisch ab (automatische Sicherheitsvorkehrung: ASD).

Um nun die vorhandene Wärme im Reaktorkern abzuführen, die den Primärkreislauf stark aufheizt, sprangen die Notspeisewasserpumpen automatisch an. Diese Pumpen befördern aus einem Notspeicherbehälter Wasser in den Sekundärkreislauf, um dem System jenes Wasser zuzuführen, das verdampft, wenn es nicht zirkulieren kann.

Zum Unglück waren jedoch beide Leitungen gesperrt, *da zwei Tage zuvor zwei Ventile bei Wartungsarbeiten nicht wieder geöffnet wurden. Die Pumpen sprangen an, und der Operateur überzeugte sich von diesem Sachverhalt, ohne zu ahnen, daß sie Wasser in eine gesperrte Leitung drücken.*

*Bei der Untersuchung der Unfallursachen befragte man drei Operateure für die es jedoch ein Rätsel sei, daß die Ventile nach der Überprüfung nicht wieder geöffnet worden seien.*

*Anscheinend waren sich diese Leute so sicher, da sie diese Tätigkeit schon so häufig ausgeführt haben.*

*Diese Operateure sagten auch aus, daß es angesichts der Hunderte von Ventilen, die in einem Kernkraftwerk geöffnet oder geschlossen werden müssen, nichts ungewöhnliches sei, wenn sich einige davon in der falschen Stellung befänden, selbst dann nicht, wenn sie mit Sperren versehen sind und ein Protokoll geführt wird.*

Auf dem riesigen Steuerpult der Three-Mile-Island-Anlage gab es eine Meßanzeige, auf der man ablesen hätte können, daß die Ventile geschlossen statt offen waren. *Diese wurde jedoch durch einen Reparaturzettel verdeckt, der über ihr an einem Schalter hing. Doch zu diesem Zeitpunkt hatten die Operateure keine Ahnung davon, daß kein Notspeisewasser durch die Leitung kam, und es gab auch keinen Grund für sie, sich davon zu überzeugen, daß die Ventile, die bei normalem Betrieb grundsätzlich offenstehen, dies auch jetzt taten. Acht Minuten später, als ihnen das Verhalten der Anlage mysteriös erschien, kamen sie dahinter.* In dieser kurzen Zeitspanne war der größte anfängliche Schaden bereits geschehen.

Dadurch, daß das Kühlmittel im Sekundärkreislauf nicht mehr zirkulierte, dampfte der Dampferzeuger aus, wodurch aus dem Reaktorkern keine Wärme mehr abgeführt wurde. Daraufhin ging der Reaktor in den Schnellschluß (SCRAM).

Die Nachzerfallswärme verursachte Temperaturen und Drücke von enormer Höhe, so daß die erste automatische Sicherheitsvorkehrung in Kraft trat. Ein vorgesteuertes Überdruckventil (PORV) wird geöffnet, durch das Wasser aus dem Kern in einen großen Behälter, den Druckhalter, geleitet wird und von dort durch eine Abflußleitung in den Reaktorsumpf gelangt. Dieses Ventil darf nur solange geöffnet bleiben, bis der übermäßige Druck abgebaut ist. Bleibt es zu lange geöffnet, dann sinkt der Druck im Reaktorkern so stark, daß das Wasser in Dampf umschlägt, so daß sich im Kern und in den Strängen des Primärkreislaufs Dampfblasen bilden, die die Zirkulation des Kühlmittels behindern, worauf es zu einem Wärmestau kommen kann.

Während der kurzen Betriebszeit von Three Mile Island 2 hatte es bereits zwei Ausfälle des Ventils gegeben. Dieser Fall trat nun zu einem äußerst ungünstigem Zeitpunkt wieder ein. Nachdem der Druck im Kern genügend abgebaut war, schloß das Ventil sich nicht wieder. Auf diese Weise flossen insgesamt fast 150.000 Liter Wasser, ein Drittel des Fassungsvermögens des Reaktorkerns, aus, wodurch der Reaktordruckbehälter unzulässigerweise an Druck verlor.

Da es schon früher Schwierigkeiten mit diesem Ventil gegeben hatte, schloß man einen Meßanzeiger an, der jedoch diesmal ausfiel.

Da die Operateure annahmen, daß es mit dem PORV keine Probleme gab, warteten sie darauf, daß der Druck im Reaktorbehälter wieder anstieg, der unmittelbar nach dem Öffnen des Entlastungsventils drastisch abgefallen war. (Es dauerte zwei Stunden und 20 Minuten, bis ein neuer Schichtleiter den Fehler entdeckte.)

Seit dem Eintreten des Störfalles sind bis jetzt erst 13 Sekunden vergangen. *Für die Operateure war in dieser Zeit keine der Störungen zu erkennen. Die Bedienungsmannschaft vermutete zu Recht, daß aufgrund des Druck- und Temperaturabfalls im Primärkreislauf der Wasserspiegel im Reaktorkern gefallen war. Aber für sie gab es keinen ersichtlichen Zusammenhang zwischen dem Sinken des Wasserspiegels und dem Abschalten der Turbine. Die Operateure gingen von der Voraussetzung aus, daß das PORV allein von dem im Reaktorbehälter herrschenden Druck angesprochen wird, völlig unabhängig vom Zustand der Turbinen des Sekundärkreislaufes oder der Notkühlpumpen für den Reaktorkern.*

Zwei bis drei Minuten schien alles in Ordnung, das Kühlmittel im Reaktorkern hatte sich scheinbar stabilisiert. Aber eben nur scheinbar. Aus einer Vielzahl von Gründen, die man nur vermuten kann, bildeten sich Dampfblasen offenbar in einer Weise, daß nach dem Anspringen der beiden Notspeisewasserpumpen der Eindruck entstand, als hätte sich die Lage stabilisiert. Den Operateuren blieb verborgen, daß kein Wasser in die Dampferzeuger gelangte. Als diese ausdampften, stieg die Temperatur des Reaktorkühlmittels erneut an, da das Sekundärsystem keine Wärme aus dem Primärsystem entzog. Da der Reaktorkern außerdem Wasser verlor, kam es zu einem starken Druckabfall im Kühlsystem.

Zu diesem Zeitpunkt, zwei Minuten nach Störfalleinleitung, sprang ein weiters Notsystem an, die Hochdruckeinspeisung des Not- und Nachkühlsystems (HPI), das Wasser unter hoher Geschwindigkeit in den Primärkreis und den Reaktorkern fördert.

Nun kam es zum Höhepunkt des Dramas, zu jener Maßnahme, die als die Hauptursache des Unfalls und als der entscheidende Bedienungsfehler bezeichnet wurde. Nachdem das HPI etwa zwei Minuten lang mit Hochdruck dem Reaktorbehälter Wasser zugeführt hatte, wurde es von Hand wieder stark gedrosselt, so daß für das aus dem PORV abgeführte Wasser kein Ersatz mehr eingespeist wurde. Das bedeutete, daß der Reaktorkern zunehmend freigelegt wurde.

Bei einer HPI wird kaltes Wasser unter hohem Druck in den Reaktorkern gespeist, um die dort herrschende Temperaturen zu senken. Dieser Vorgang ist ziemlich riskant, da das kalte Wasser dem Kern einen „Schock“ versetzen und zu Haarrissen führen kann. Außerdem wird der Reaktorkern einer starken Druckbelastung mit möglichen Folgeschäden ausgesetzt.

Ein weiteres Problem bei einer HPI ist die Gefahr, daß es zu einem Druckanstieg im Druckhalter führen kann, wenn dieser geflutet ist. Der Druckhalter ist eine Art riesiger Stoßdämpfer und Stabilisator. Er ist praktisch ein großer Tank, in dem sich im unteren Teil rund 22.000 Liter Wasser und darüber etwa 20.000 Liter Dampf befinden. Gelangt über die HPI zuviel Wasser in den Reaktorkern, wird der Druckhalter geflutet, und der Dampf kondensiert. Kommt es im Reaktorkern zu einem beträchtlichen Druckanstieg, kann das durch den Dampf im Druckhalter gebildete Polster verschwinden. Dann können die Kühlwasserpumpen zerstört werden, und es kann zu einer Kernschmelze kommen.

*Die Bedienungsmannschaften waren sowohl vom Hersteller als auch vom Betreiber der Anlage eindringlich angewiesen worden, eine Kondensierung des Dampfes im Druckhalter zu vermeiden. Aber weder die Schulungsunterlagen noch die Betriebsanleitung enthielten einen Hinweis darauf, daß es unter bestimmten Bedingungen vorteilhafter sein kann, ein Kondensieren des Dampfs im Druckhalter zuzulassen als auf eine HPI zurückzugreifen.* Zwei Minuten nach Störfalleinleitung im Reaktor Three Mile Island 2 war eine Lage entstanden, in der eine HPI dringlicher war als ein regulierbarer Druckhalter.

*Nach dem Ansprechen der Hochdruckeinspeisung achteten die Operateure vor allem auf zwei Meßanzeigen, die dicht nebeneinanderlagen.* Die eine zeigte einen unverändert fallenden Druck im Reaktor an, *ein unerklärliches Verhalten, da die andere einen Druckanstieg im Druckhalter in gefährlichem Ausmaß verzeichnete. Eigentlich hätten sich beide Zeiger wie bisher immer im Gleichtakt bewegen müssen, denn beide Meßstellen waren durch Leitungsstränge miteinander verbunden.*

*Nun ist man davon ausgegangen, daß mit einem Instrument etwas nicht stimmte, was immer wieder vorkam. Da die Operateure wußten, daß die Notspeisewasserpumpen eingeschaltet waren (aber nicht, daß diese wegen der geschlossenen Ventile kein Wasser zu pumpen hatten), mußte in ihren Augen der Kern vom Sekundärkreislauf gekühlt werden, so daß der Druckabfall erklärlich war. Aber wenn das stimmte, warum schaltete sich dann das HPI-System automatisch ein? Vielleicht war es die Reaktordruckanzeige, die nicht stimmte.*

Der hohe Druck im Druckhalter gab zu schlimmsten Befürchtungen Anlaß. Bei einem Bruch des Druckhalters tritt ein Kühlwasserverlust (LOCA) auf. Sämtliche Instruktionen besagen, daß dieses auf keinen Fall eintreten dürfe. Also schaltete man, durch den scheinbar eindeutigen Zusammenhang zwischen dem Anspringen der HPI und dem hohen Druck im Druckhalter, die HPI von Hand wieder ab.

Kurz darauf fiel der Druck im Druckhalter wieder, womit die Gefahr einer Kondensierung des Dampfs in diesem Behälter vermindert wurde.

Was die Operateure hingegen weder wußten noch wissen konnten: Mit dem geöffneten Entlastungsventil und den beiden geschlossenen Speisewasserventilen, was die Abfuhr von Nachwärme verhinderte, war es bereits zu dem befürchteten LOCA gekommen. Der Druckanstieg im Druckhalter wurde vermutlich durch die beschleunigte Bildung von Dampfblasen infolge der zunehmenden Freilegung des Reaktorkerns verursacht.

Zwei Stunden und 20 Minuten nach Störfalleinleitung war Schichtwechsel. Der neue Schichtleiter stellte eine Frage über die Stellung des PORV, so daß die Operateure entdeckten, daß es sich nicht geschlossen hatte, und ein Absperrventil betätigten, um den Zufluß zum PORV zu blockieren.

Diese Tat war eher ein Akt der Verzweiflung, als eine klar überlegte Maßnahme. Normalerweise kommt niemand auf die Idee, ein Sicherheitssystem ohne Grund abzuschalten.

Dennoch erwies sich diese Maßnahme als glücklich, denn hätte man das PORV auch nur 30 Minuten länger offen- und die Hochdruckeinspeisung gedrosselt gelassen, dann wäre es wahrscheinlich zu einer vollständigen Kernschmelze gekommen.

33 Stunden nach Störfalleintritt trat eine neue Gefahr auf: die Entstehung einer Wasserstoffblase. Im Fall einer Überhitzung können die Hüllrohre in einer Zirkonium-Wasser-Reaktion mit dem Wasser reagieren. Dabei wird Sauerstoff verbraucht und Wasserstoff freigesetzt, der zunächst kleine dann große Dampfblasen bildet. Diese Blasen können durch einen Funken und der Anwesenheit von etwas Sauerstoff explodieren.

Nach 14 Tagen war jedoch die primäre Gefahr einer Wasserstoffexplosion gebannt, obwohl es zu einigen kleinen Explosionen gekommen ist.

Das System hatte sich zum Glück so weit abgekühlt, daß wieder ein normaler Kreislauf möglich war.

#### 20.10.2.6.3 Über den Operateur in einem Kraftwerk

Bei der Betrachtung von Störfällen werden von der Presse die Operateure häufig als die Hauptverantwortlichen abgestempelt.

Es wird übersehen, daß den Fehlern, die diesen Operateuren unterlaufen, häufig schon menschliche Fehler der Konstrukteure und Systemdesigner vorausgehen, so daß eine korrekte Fehlerbehandlung nur bedingt oder erschwert möglich ist.

Menschliche Operateure in einem Atomkraftwerk haben einen frustrierenden Job, der mit Dilemmas beladen ist:

- Einerseits übernehmen sie die schreckliche Verantwortung die Öffentlichkeit vor dem Austreten radioaktiver Strahlung zu schützen; andererseits werden sie dafür bezahlt die Turbinen gewinnbringend am laufen zu halten und einen Leistungsabfall möglichst zu vermeiden.
- Einerseits wird von ihnen erwartet die Vorgaben des Betreibers und des Staates zu befolgen; andererseits sollen sie ihr Wissen und Verstand dazu einsetzen, vorhandene Störungen zu beheben.
- Einerseits werden sie anhand ihrer Geschwindigkeit Entscheidungen zu treffen und Aktionen auszuführen gemessen; andererseits wissen sie, daß es beim Ereignen eines Notfalls am besten wäre, die Hände in den Taschen zu lassen und bis hundert zu zählen.
- Einerseits wissen sie, daß sie hochausgebildete Techniker aber keine professionellen Ingenieure sind, so daß von Ihnen kein perfektes theoretisches Verständnis der Anlage erwartet wird; andererseits möchte kein Ingenieur diesen stupiden und langweiligen Job machen.

Normalerweise befinden sich drei Operateure in oder in der Nähe des Kontrollraums. Nach dem Three-Mile-Island-Unfall wurde jedoch überlegt, ob nicht noch eine zusätzliche Person, die einen Ingenieursgrad oder ähnliches besitzt, eingesetzt werden soll, welche das komplexe System vollständig versteht und einen Überblick in kritischen Situationen behalten kann.

*{Merkregel: Wer selber arbeitet verliert den Überblick!}*

Ein weiterer Grund ist, daß gerade in eng gekoppelten komplexen Systemen kleine Störungen genügen, um Katastrophen entstehen zu lassen.

Durch Drill werden den Operateuren die Systembezeichnungen, Funktionen und Prozeduren beigebracht. Die „Standardunfälle“ werden in einem Simulator trainiert. Die bizarren, komplexen und unerwarteten Situationen werden im allgemeinen nicht geübt. Das Training sollte zu einer höheren, inklusiveren und flexibleren Ebene der Kognition bezüglich der zu erfüllenden Aufgabe geführt werden.

Ein großes Problem stellte in Three-Mile-Island das Design der Schalttafeln dar. Es wurden eine Menge allgemein anerkannter Design Prinzipien verletzt:

- Displays auf der linken Seite dienten zur Kontrolle von Funktionen, die auf der rechten Seite ausgeführt werden konnten.

- Einige Anzeigen konnten aus einer Entfernung von 1-2 Metern nicht mehr gelesen werden.
- Die Kontrollen für einige Anzeigen befanden sich in einer Entfernung von 10 Metern zu diesen.
- Das Meßgerät zum Erfassen des Druckes im Abblasetank, mit dem ein Kühlwasserverlust hätte erkannt werden können, wurde von den Konstrukteuren als unwichtig eingestuft und ist deshalb auf der Rückseite des zwei Meter hohen Steuerpults angebracht worden.
- Zwei identische Meßgeräte, die sich nebeneinander befanden, besaßen einen Unterschied in der Größe Faktor 10, der sich jedoch nicht auf der Skala wiederfand, so daß der Operateur einen Wert immer neu umrechnen mußte.
- Einige Kontrollen waren so angebracht, daß sie ein Operateur durch eine unvorsichtige Bewegung verstellen konnte.
- Es gab mehrdeutige Beschriftungen.
- Die Nomenklatur des Alarmankündigers und die der identischen Prozeduren unterschieden sich voneinander.

#### 20.10.2.6.4 Zusammenfassung

Als Beispiel für eine Katastrophe, für deren Entstehung fast ausschließlich menschliche Fehler verantwortlich waren, wurde die Katastrophe von Three-Mile-Island gewählt, da hier nicht nur die große Variabilität der menschlichen Fehler zutage tritt, sondern auch die Schwierigkeiten Menschen in ein komplexes interaktives System einzubinden.

Hilfen müssen vor allem darauf abzielen, allgemeine Unzulänglichkeiten und Primärfehler der menschlichen Informationsverarbeitung zu reduzieren. Ein wesentlicher Teil solcher Hilfen gilt dem Aufbau adäquater interner Repräsentationen:

1) *Fehldiagnosen müssen vermieden werden*:

Die Aufmerksamkeit ist auf diskrepante Daten und alternative Hypothesen zu lenken. Überdies können adaptive Systeme dazu beitragen, zu gering beachtete Informationen auffällig darzustellen. Das Ziel ist die Sicherung der geistigen Beweglichkeit bzw. die Vermeidung kognitiver Hysterese.

*2) Das Individuum muß in den Kontroll- und Steuerungsablauf einbezogen werden:*

Die Automatisierung der Systemsteuerung muß zugleich eine kontinuierliche aktive Auseinandersetzung mit dem System zulassen.

3) *Realzeit-Krisenmanagement*:

Das entscheidungsstützende System muß eine Reduktion der Informationsbelastung in kritischen Situationen gewährleisten, wobei es gilt zwei Fehler zu vermeiden:

a) Die Aufmerksamkeit darf nicht ständig aufgrund immer neu einlaufender Daten über das System wechseln, was zu einem ziellosen Aktivismus führen würde.

b) Bei extrem konzeptgeleiteten Verhalten muß eine stark eingeschränkte und selektive Beachtung von Daten (”tunnel-vision”) vermieden werden.

Es sollen entscheidungsunterstützende Systeme angestrebt werden, die so konstruiert sind, daß die potentiellen mentalen Modelle des Prozeßabbilds der Nutzer berücksichtigt werden. Expertensysteme werden von Morray als Unterstützung für wenig geeignet gehalten, da sie explizit menschliches Verhalten simulieren wollen.

#### 20.10.2.6.5 Auszählung relevanter System- und Umwelteinflüsse

Für die Mensch-System-Interaktion kann nicht nur der kognitive Ausführungslevel einbezogen werden, sondern es muß auch die nächste Umwelt des Menschen berücksichtigt werden.Das folgende Diagramm beschreibt die komplexen Interaktionen in einem Mensch-Maschine-System während einer Fehlersituation.

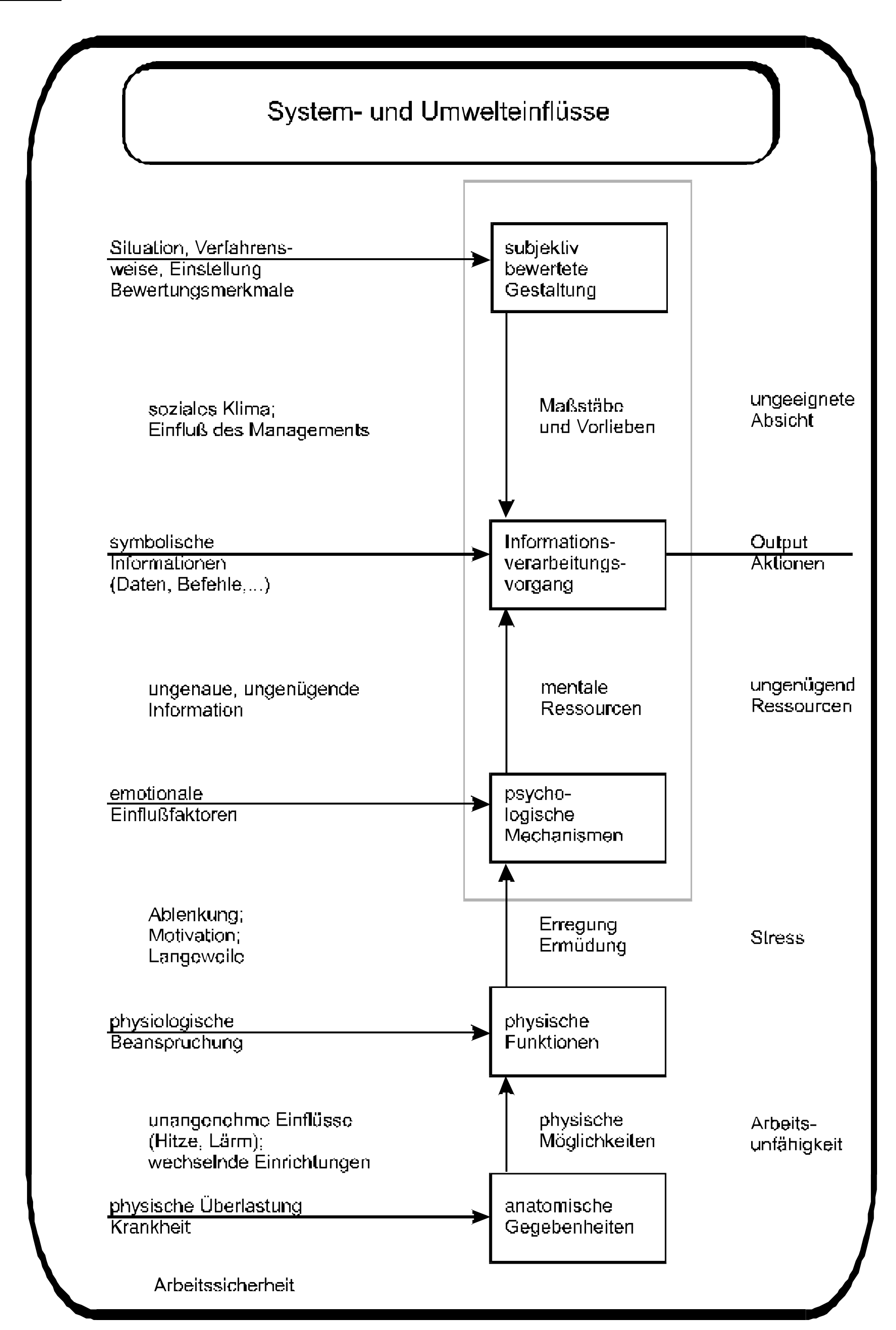



**Abbildung 30**

Der Mensch wird während der Fehlerbehandlung, die das Erkennen, die Zielfindung und die Ausführung einschließt, von vielen äußeren Bedingungen und Gegebenheiten beeinflußt.

Als erstes ist der Einfluß auf den menschlichen Organismus zu nennen.

Der Mensch ist im allgemeinen nur dann zu einer korrekten Ausführung seiner Tätigkeit im Stande, wenn sein Körper ungeschwächt ist, und er somit die Aufmerksamkeit voll auf seine Arbeit richten kann.

Durch daraus resultierende Müdigkeit ergibt sich ein niedrigerer Aufmerksamkeitsgrad und eine eingeschränkte Entscheidungsfindung.

*Im Fall von Three Mile Island bestand die physische Überlastung in der Überarbeitung des Wartungspersonals zum Zeitpunkt des Unfalls, da es aufgrund von Einsparungsmaßnahmen reduziert worden ist. Zusätzlich arbeiten die Operateure in einem Vier-Schicht-Betrieb, in dem sie dann rotieren, wenn sie sich gerade an die Zeit gewöhnt haben.*

Weitere Einflüsse auf die physischen Funktionen sind z.B. Hitze und Lärm, die zu einer Ermüdung oder Erregung und somit Konzentrationsabnahme des Personals führt.

*In der Schaltzentrale ertönten nach der Störfalleinleitung drei vernehmbare Alarmsignale, und eine Vielzahl der 1600 Anzeigelämpchen leuchteten auf oder blinkten. Diese Masse an Anzeigenaktivität in den ersten Minuten kann den Operateur in höchstem Maße verwirren.*

Wie jeder aus eigener Erfahrung weiß, fällt es in Streßsituationen besonders schwer die Gedanken auf das Problem zu richten, wenn man z.B. vom Straßenlärm von dem Bearbeiten einer Klausur abgelenkt wird.

Aus diesen Streßsituationen entsteht leicht eine Panik. *Nachdem die Operateure entdeckten, daß sich das PORV nicht geschlossen hatte, betätigten sie ein Absperrventil, um die Leitung zu blockieren. Der Operateur sagte selber aus, daß diese Tat eher ein Akt der Verzweiflung gewesen sei, als eine klar überlegt Maßnahme, da normalerweise niemand auf die Idee kommt, ein Sicherheitssystem ohne Grund abzuschalten.*

Zusätzlich zu den physischen kommen auch noch die emotionalen Einflußfaktoren wie Zerstreuung, Motivation und Langeweile hinzu. Diese Faktoren beeinflussen die Bereitschaft Ressourcen bzw. Energie in eine Tätigkeit zu stecken.

Weiterhin kann die Bearbeitung einer Aufgabe durch spezielle Situationen, Vorgehensweisen und den Vorstellungen anderer Personen beeinflußt werden.

Das soziales Klima, bzw. die Beziehungen zwischen den Personen in einer Gruppe (Gruppendynamik), birgt besondere Probleme in sich, so daß Irrationalität in den Planungsprozeß geleitet werden kann.

Zum Beispiel kann ein Mann das Vertrauen aller anderen Personen gewinnen, so daß sie alles befolgen oder ihr Wissen unterdrücken, da sie sich anpassen wollen und ihnen der Mut zum Widerspruch fehlt.

*Während des Störfalles füllte sich der Schaltraum mit Experten. Im Verlauf des Tages befanden sich dort etwa 40 Personen. Zu diesem Zeitpunkt ereignete sich auch die Wasserstoffexplosion, deren leiser Knall von einer Person registriert wurde. Als danach ein Pumpe angestellt wurde, wobei die Gefahr der Funkenbildung besteht, und es zu keiner weiteren Explosion kam, dachte die Person das Problem der Wasserstoffexplosion bestünde nicht mehr und hielt es nicht mehr für notwendig die Gruppe von seiner Beobachtung zu informieren. Seine Entscheidung war von der Angst beeinträchtigt in der Expertenrunde eine falsche Meinung abzugeben, wodurch es zu einer negativen Einschätzung seiner Fähigkeiten seitens der Experten hätte kommen können.*

Diese Angst negativ aufzufallen ist vor allem auch in Schulklassen zu beobachten.

Beeinflussenden Charakter haben auch die Anordnungen bzw. Entscheidungen des Managements. *Der Entschluß die Hochdruckeinspritzung wieder abzustellen, wurde von Vorgaben beeinträchtigt. Die Bedienungsmannschaften waren sowohl vom Hersteller als auch vom Betreiber der Anlage eindringlich angewiesen worden, eine Kondensierung des Dampfes im Druckhalter zu vermeiden, woraus die Maßnahme, die HPI von Hand abzuschalten, resultierte.*

Die Erstellung von Problemlösemöglichkeiten durch den Menschen basiert auf den eingehenden Informationen, wie z.B. Daten oder Befehle. Falls diese ungenau, ungenügend oder falsch sind, kann es normalerweise zu keiner Tätigkeit kommen, die die Aufgabe oder das Problem korrekt löst.

*Als Beispiel ist hier das mannigfaltige Versagen der Sensoren, z.B. der Meßzeiger am PORV, zu nennen. Wie entscheidend diese Informationen für einen Informationsverarbeitungsprozeß sein kann wird darin deutlich, daß sich die Operateure nach dem Schließen des PORV auf die Meßanzeige verlassen haben, und durch eine korrekte Anzeige der Unfall etwas weniger gefährliche Ausmaße angenommen hätte.*

#### 20.10.2.6.6 Versuche zur Minimierung von Unfällen und Störfällen

Die Bemühungen, durch experimentelle Anordnungen herauszufinden, wie man die Unzulänglichkeiten menschlichen Entscheidens und Handelns minimieren kann, befinden sich erst im Anfang. Die Zielsetzung derartiger Unternehmungen liegt darin, sie explizit zur Auslegung von Systemen zur Unterstützung von Entscheidungen und Problemlösungsprozessen zu verwenden. Je besser dies gelingt, desto geringer ist die Gefahr eines Unfalls durch menschliches Versagen.

Diese Zielsetzungen versucht man auf unterschiedlichen Wegen zu erreichen.

*Bei der Handhabung gefährlicher Güter benutzt man die kognitive Symbolerkennung dazu, durch einfache, auffällige Symbole Personen auf die Gefahren aufmerksam zu machen und so zu einer umsichtigen Verhaltensweise zu bewegen.*

*Sogenannte Piktogramme ermöglichen es, sprachenunabhängig bestimmte Hinweise zu vermitteln. Jeder kennt zum Beispiel das „Rauchen verboten“-Piktogramm.*

*Bei der Auslegung von Steuerungseinheiten komplexer Prozesse und Anlagen hat sich die Verwendung von Anlagenfließbildern auf Monitoren mit der Möglichkeit der direkten Abfrage der Betriebsparameter bewährt.*

Besondere Anstrengungen werden bei der Entwicklung von sogenannten *Expertensystemen* unternommen. Ziel ist es, Computerprogramme zu erstellen, die das Problemlösungsverhalten eines Experten in einem engen Bereich nachbilden können.

Ein Expertensystem ist ein System, das

- dem Benutzer Expertenwissen verfügbar macht,
- Strategien zur Problemlösung bereithält,
- Auskunft über Lösungswege geben kann,
- zumindest teilweise die Kompetenz eines Experten erreicht.

Derartige Expertensysteme sollen den Operateur bei der Entscheidungsfindung unterstützen oder sogar selber Maßnahmen einleiten. Durch die Unterstützung soll der Operateur schneller auf das eigentliche Problem gebracht werden, um dann durch die „eingesparte“ Zeit früher als bisher wirkungsvolle Gegenmaßnahmen ergreifen zu können.

## 20.11 Beurteilung der kognitionswissenschaftlichen Forschung

Aufgrund der relativ kurzen Zeit, in der Kognitionsforschung betrieben wird, sind die im Labor erhaltenen Forschungsergebnisse in vielen Fällen noch nicht vollständig auf reale Probleme zu übertragen. So ist zu bemerken, daß es sich bei den Bedienern technisch komplexer Systeme, z.B. der Schichtbesatzung eines Kraftwerks, um spezifisch ausgebildete Fachleute, und nicht wie im Laborversuch um „naive“ Versuchspersonen handelt. Außerdem ist die verlangte Lei-

stung bei der technischen Anwendung allgemein formuliert, die genaue Zielsetzung muß jeweils vom Operateur präzisiert werden (dialektische Probleme).
Weiterhin ist die Verantwortung bei Laborversuchen geringer als bei technischen Prozessen. Gemütszustände wie Nervosität oder Panik, die das individuelle Handeln stark beeinflussen, sind deshalb nicht unbedingt zu übertragen.
Es wird deshalb in nächster Zeit sicherlich noch Forschungsbedarf an möglichst wirklichkeitsnah gestalteten Versuchen bestehen. Dennoch sind die Errungenschaften, die auf den Grundlagen der Kognitionsforschung beruhen, beachtlich und begegnen uns nicht nur in vielen Bereichen der Technik, sondern auch im Alltag.
So wird bei der Informationsdarbietung auf Ergebnisse der Kognitionsforschung zurückgegriffen.

> *Mit Piktogrammen gelingt es, sprachenunabhängig Informationen zu übermitteln. Der Betrachter muß dabei nicht einmal des Lesens kundig sein. Mit Gefahrensymbolen wird sicher auf Gefahren im Umgang mit Stoffen hingewiesen.*

Im Bereich der Didaktik werden die Erkenntnisse der Kognitionsforschung bei der Vermittlung von Lehrinhalten angewandt.

> *Durch eine ansprechende Lehrbuchgestaltung kann die Aufmerksamkeit auf den Lehrstoff gelenkt und das Interesse am Lernen geweckt werden.*

Auch in der Auslegung von Steuerungseinheiten haben, wie bereits erwähnt, derartige Erkenntnisse Einzug gefunden.
Die zukünftige Entwicklung der Kognitionswissenschaften geht in die Richtung der Erweiterung der Steuerungsprinzipien, der Erstellung neuronaler Netze und der Forschung zur Anwendung der sogenannten fuzzy-logic.

## 20.12 Ausblick

Die Kognitionswissenschaften gehören zu den wissenschaftlichen Unternehmungen, die sich in den letzten Jahren am stärksten entwickelt haben. Da aufgrund vieler ungeklärter Fragen noch nicht abzusehen ist, welchen Weg die Kognitionswissenschaften einschlagen werden, liegt das Ende des verstärkten Handlungsbedarfes noch in weiter Ferne. Forschungsbedarf ergibt sich daher auf vielen Gebieten.
Betrachtet man die Informationsverarbeitung in kognitiven Systemen, so werden die Informationen in der Regel in der Computermetapher als Symbole und in der Gehirnmetapher als Signale

behandelt. Bei der Modellierung werden Symbole, wie auch Signale künstlich aufbereitet. Somit besitzen kognitive Systeme weder Sensoren noch Effektoren, mit denen sie in direkten Kontakt mit der Umwelt treten können. Bezüglich der Computermetapher ergeben sich damit Fragen, bezüglich:

- der Form der Meta-Symbolik,
- einer generellen Systematizität,
- des Frame- Problems.

Für die Gehirnmetapher bezüglich :

- einer generalisierten Form der neuronalen Einheiten,
- der Struktur von neuronalen Hyperklassifikatoren,
- der Robustheit der simulierten Informationssyteme.

Forscher, die die Computermetapher vertreten, sehen die kognitive Dynamik als Steuerung kognitiver Einheiten, z.B. in Form von Produktionssystemen. Diejenigen, die als Leitbild die Gehirnmetapher gewählt haben, modellieren die Dynamik als Regelung zwischen lokalen, bzw. distributiven konzeptionellen Einheiten. Die Erkenntnisse aus den handlungstheoretischen Untersuchungen werden seit neuerem durch die Heuristik des Handlungsbegriffes ergänzt.
Zum einen lassen sich dadurch strategische und zielorientierte Anteile erkennen, zum anderen wird ein theoretischer Rahmen geliefert. Wichtige Stichwörter zukünftiger Erforschung könnten sein:

- **Steuerungsmetapher**
  - strukturelle versus funktionale Prozesse,
  - aufsteigende versus absteigende Prozesse,
  - vorwärts versus rückwärts wirkende Prozesse.

- **Regelungsmetapher**
  - autonome versus interaktive Prozesse,
  - sequentielle versus parallele Prozesse,
  - erregende versus hemmende Prozesse.

- **Handlungsmetapher**
  - Selbstreferenz,
  - Aushandeln,
  - Bewußtsein.

Ein Bereich der bisher stark vernachlässigt wurde, ist die kognitive Genetik und damit die Frage, durch welche Prozesse kognitive Systeme entstehen. Die Computermetapher hat sich zunächst vornehmlich der Fremdorganisation bedient. Im Zuge der fortschreitenden Forschung erkannte man, daß natürliche kognitive Systeme im wesentlichen durch Prozesse der Selbstorganisation entstehen. Der neueste Erkenntnisstand bzgl. der Entstehung menschlicher Kognition ist die Verbindung von Fremd- und Selbstorganisation zu einer kooperativen Problemlösestrategie. Themen zukünftiger Forschung sind daher:

- **Fremdorganisation**
  - Didaktik,
  - Motivation,
  - Manipulation.

- **Selbstorganisation**
  - Autopoiese,
  - strukturelle Kopplung,
  - Synergetik.

- **Kooperatives Problemlösen**
  - Kommunikation,
  - Rationalität,
  - Kreativität.

Die Entwicklung kognitiver Systeme ist von grundlegender Bedeutung, nicht nur für die natürliche, sondern auch für die künstliche Intelligenz. Erst wenn die Genetik der Informationsverarbeitung wenigstens in Umrissen beschrieben und erklärt werden kann, wird es möglich sein, nicht nur gezielt natürliche Erwerbsprozesse zu unterstützen, sondern auch künstliche Informationsverarbeitungssysteme zu konzipieren. Neben der Simulation ist es die Aufgabe künstlicher Systeme, die Möglichkeiten der menschlichen Informationsverarbeitung durch zusätzliche Leistungen zu sichern oder gar zu erweitern. Für dieses Ziel der Optimierung menschlicher Fähig-

keiten durch die künstliche Intelligenz erbringt die Erforschung der bei Menschen real ablaufenden Prozesse viele wertvolle Hinweise.

Technische Anwendungsbereiche für künstliche kognitive Systeme sind z.B. in der Neurobionik. Dies sind künstliche kognitive Systeme die bestimmte motorische und sensorische Funktionen erfüllen. Die Palette reicht von Vorlesegeräten für Menschen mit Sehbehinderung bis zu künstlichen motorischen Systemen bei partiellen Behinderungen oder Lähmungen. Ein anderer Bereich ist die Telerobotik. Hier werden autonome Kommunikatoren und Agenten entwickelt, die selbständig Aufträge in einer weitgehend unbekannten Umwelt ausführen (Tiefsee, unbemannte Raumfahrt). Systeme der virtuellen Realität simulieren realistische Interaktion mit fiktiven Objekten (Gang durch ein in der Planung befindliches Haus, etc.).

Die anwendungsbezogenen Perspektiven der Kognitionswissenschaft in ihrer Gesamtheit reichen weit über die technischen Anwendungen hinaus. Die mit ihr verbundenen Analysemöglichkeiten führen nicht zuletzt zu einer neuen Identität des Menschen z.B. als vertiefte Einsicht in die menschliche Rationalität, wissenschaftliche Objektivität und die darauf aufbauende Ethik.

## 20.13 Literaturverzeichnis

Anderson John R.
Kognitve Psychologie
Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 1996

Bliefert, C.
Umweltchemie
VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, 1994

Bongard, M.
Pattern Recognitten
Rochelle Park 1970

H.J. Charwat
Benutzerfreudlichkeit, der Schlüssel zur Heigh-Technology
Technische Rundschau 1985 39, S. 84 - 89

Charwart, H.J.
Lexikon der Mensch-Maschine-Kommunikation
R. Oldenbourg Verlag GmbH,1992

Czihak G., Langer H., Ziegler H. (Hrsg.)
Biologie
Springer- Verlag, Berlin - Heidelberg, 1996

McFarland, D.
Biologie des Verhaltens
VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, 1989

Fischer, G.
Mensch-Maschine-Kommunikation. Theorie und System.
Institut für Informatik, Universität Stuttgart, 1982

Geiser, G.
Mensch-Maschine-Kommunikation in Leitstäden, PDV-Berichte Nr. 131, 132, 133
Institut für Informationsverarbeitung in Technik und Biologie der
Fraunhofer Gesellschaft e.V., Karlsruhe

Gerrit C., van der Veer
Human Compute Interaction: Psychonomic Aspects
Springer Verlag 1988

Hays-Roth, F., Waterman, D. A.
Building Expert Systems
Addison-Wesley, Massachusetts, 1983

Marfeld, A.F.
Kybernetik des Gehirns
Safari- Verlag, Berlin, 1990
Meister, D.
Human factors, Theory und Practice.

Wiley Interscience New York, 1971

Mörike, Betz, Mergenthaler
Biologie des Menschen
Quelle & Meyer Verlag, Heidelberg - Wiesbaden, 1991

Reuter, M.
"First Experiences With Ergonomic Structures for the WWW-Presentation of a Student Information- and Councilling-System", EUFIT' 98, Aachen 1998, Germany

Ritter, H. et. al.
Neuronale Netze
Addison-Wesley Publishing Company, Bonn, 1990

Schneider, Strittmatter, Tack (Hrsg.)
Information ist noch kein Wissen
Psychologie heute: Taschenbuch, Beltz, 1990

Streitz A., Eberleh E.
Mentale Belastung und kognitive Prozesse bei komplexen Datenstrukturen
Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Dortmund 1989

Strohner, Hans
Kognitive Systeme
Westdeutscher Verlag GmbH, 1995

Umweltrecht
DTV-Verlag, München, 1995

Varela, F. J.
Kognitionswissenschaften - Kognitionstechnik
Suhrkamp Verlag, Frankfurt am Main, 1993

Veith, R.
Mensch-Maschine-Schnittstelle in Echtzeitsystemen
Springer Verlag Wien, New York

Walle, J. H., Feirtag N. und M.
Neuroanatomie
Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Heidelberg, 1990

Wassermann, I.A.
Reading in Human-Computer-Interaction
Morgan Kaufman Los Atos, 1987, S. 561-575.

Zenner, H.P., Zrenner E.
Physiologie der Sinne
Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Heidelberg, 1994

## 20.14 *Index*

—1—



—3—



—A—



—Ä—



—A—



—B—



—C—



—D—



—E—

## —F—



## —G—



## —H—



## —I—



## —K—



## —L—